



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE QUITO  
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**REHABILITACIÓN DE UNA TERMOCUNA CON  
CONTROL AUTOMÁTICO E IOT PARA LA PRÁCTICA  
EDUCATIVA EN ENFERMERÍA**

Trabajo de titulación previo a la obtención del  
Título de Ingeniero Electrónico

AUTOR: Jacqueline Aracely Sánchez Maldonado

TUTOR: Carlos Germán Pillajo Angos

Quito-Ecuador

2024

## **CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Yo, Jacqueline Aracely Sánchez Maldonado con documento de identificación N° 1750414417 manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 6 de agosto del año 2024

Atentamente,



---

Jacqueline Aracely Sánchez Maldonado

1750414417

## **CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, Jacqueline Aracely Sánchez Maldonado con documento de identificación No.1750414417, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Proyecto Técnico: “Rehabilitación de una termocuna con control automático e IoT para la práctica educativa en enfermería”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Electrónico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 6 de agosto del año 2024

Atentamente,



---

Jacqueline Aracely Sánchez Maldonado

1750414417

## **CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Yo, Carlos Germán Pillajo Angos con documento de identificación N° 1709255119, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: REHABILITACIÓN DE UNA TERMOCUNA CON CONTROL AUTOMÁTICO E IOT PARA LA PRÁCTICA EDUCATIVA EN ENFERMERÍA, realizado por Jacqueline Aracely Sánchez Maldonado con documento de identificación N° 1750414417, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 6 de agosto del año 2024

Atentamente,

A handwritten signature in blue ink, consisting of several overlapping loops and lines, positioned to the right of the word 'Atentamente,'.

---

Ing. Carlos Germán Pillajo Angos, PhD

1709255119

## ÍNDICE GENERAL

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	II
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA.....	III
CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN .....	IV
ÍNDICE GENERAL.....	V
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	IX
ÍNDICE DE TABLAS .....	X
ÍNDICE DE DIAGRAMAS DE FLUJO .....	XI
RESUMEN.....	XII
ABSTRACT.....	XIV
INTRODUCCIÓN .....	XV
CAPÍTULO I.....	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	1
1.1 Problema de estudio.....	1
1.2 Antecedentes .....	1
1.3 Importancia y alcance .....	2
1.4 Delimitación.....	3
1.5 Objetivos.....	4
1.5.1 Objetivo general.....	4
1.5.2 Objetivo específico.....	4
CAPÍTULO II .....	5
MARCO TEÓRICO .....	5
2.1 Medicina neonatal.....	5

2.2	Diferenciación entre termo cunas e incubadoras. ....	5
2.3	Incubadora: Definición. ....	6
2.3.1.	Principales componentes y funcionamiento de las incubadoras. ....	7
2.4	Desarrollo histórico y tecnológico de las incubadoras. ....	8
2.4.1	Historia de las Incubadoras. ....	8
2.5	Control Automático en Incubadoras. ....	9
2.5.1	Principios del Control Automático. ....	9
2.5.2	Fundamentos de control automático aplicados en dispositivos médicos. 11	
	▪ Teoría de sistemas. ....	11
	▪ Control Automático. ....	12
2.5.3	Implementaciones Existentes. ....	14
2.6	Internet de las cosas (IoT) en el ámbito médico. ....	15
2.6.1	IoT en medicina. ....	15
2.6.2	Casos de uso de IoT en cuidado neonatal. ....	16
2.7	Aplicación de tecnología en la educación de enfermería. ....	17
2.7.1	Tecnología educativa en enfermería. ....	17
2.7.2	Beneficios y Desafíos. ....	18
CAPÍTULO III .....		19
METODOLOGÍA .....		19
3.1	Descripción. ....	19
3.2	Diagnóstico inicial .....	19
3.2.1	Evaluación de la Incubadora .....	19

▪	Inspección Física y Técnica .....	19
▪	Identificación del problema principal .....	20
3.2.2	Recolección de Requisitos.....	20
3.3	Diseño de la Solución .....	20
3.3.1	Diseño del Sistema de Control Automático .....	21
▪	Selección de Componentes .....	22
▪	Arquitectura del Sistema.....	23
3.3.2.	Funcionamiento del Sistema.....	27
3.3.3.	Desarrollo del Software.....	28
▪	Diseño CAD.....	28
▪	Programación de la Tarjeta de Control.....	28
–	ESP32: .....	28
–	ESP32 Función Configuración de Temperatura: .....	31
–	ESP32 Función Configuración de Temperatura para la Alarma: .....	34
▪	Función Control Temperatura.....	34
▪	Programación Arduino Nano .....	36
▪	Aplicación de IoT .....	38
–	Node RED.....	38
3.4	Implementación y Prueba .....	38
▪	Instalación de Componentes:.....	38
▪	Pruebas de Funcionamiento:.....	38
3.5	Evaluación y Capacitación.....	39
▪	Evaluación de desempeño. ....	39

▪	Capacitación .....	39
3.6	Solución Propuesta.....	39
CAPÍTULO IV .....		40
RESULTADOS .....		40
4.1.	Resultado 1: Investigación de la base teórica y operativa. ....	41
4.2.	Resultado 2: Adaptación del equipo para la incorporación de un Hardware especializado. ....	41
4.2.1.	Detalle de estructura .....	42
▪	Cubierta. ....	42
▪	Tapa frontal. ....	43
▪	Base. ....	43
4.3.	Resultado 3: Diseño de un sistema de monitoreo remoto.....	44
4.4.	Resultado 4: Desarrollo de un sistema de control automático.....	46
4.5.	Resultado 5: Verificación y validación del desempeño del sistema. ....	49
CAPÍTULO VI.....		50
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		50
7.1.	Conclusiones .....	50
7.2.	Recomendaciones .....	51
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....		52
ANEXOS.....		56
Anexo 1. CRONOGRAMA .....		56
Anexo 2. PRESUPUESTO.....		60
Anexo 3. MANUAL DE USUARIO.....		61
Anexo 4. ENSAMBLE INCUBADORA .....		69



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<i>Ilustración 1 Internet de las cosas en ámbito médico.</i>	15
<i>Ilustración 2 Modulo ESP8266.</i>	16
<i>Ilustración 3 Mejora de la calidad de vida de los pacientes al gestionar y recopilar datos para poder detectar y prevenir enfermedades.</i>	18
<i>Ilustración 4 Estado inicial de la incubadora.</i>	20
<i>Ilustración 5 Conexiones entre Arduino y ESP32</i>	23
<i>Ilustración 6 Etapa de alimentación</i>	25
<i>Ilustración 7 Etapa de control de temperatura</i>	26
<i>Ilustración 8 Etapa de control de humedad.</i>	26
<i>Ilustración 9 Etapa de interfaz de usuario.</i>	27
<i>Ilustración 10 ESP32 DevKit V1.</i>	29
<i>Ilustración 11 Declaración de librerías.</i>	29
<i>Ilustración 12 Creación de variables.</i>	30
<i>Ilustración 13 Etapa de configuración.</i>	30
<i>Ilustración 14 Configuración de display.</i>	32
<i>Ilustración 15 Publicación de datos en puerto serial.</i>	33
<i>Ilustración 16 Envío de datos a Node RED</i>	35
<i>Ilustración 17 Lectura de teclas.</i>	36
<i>Ilustración 18 Activación de bombas e indicadores.</i>	36
<i>Ilustración 19 Estado actual de la incubadora de la Facultad de Enfermería.</i>	40
<i>Ilustración 20 Esquema de las partes del equipo.</i>	40
<i>Ilustración 21 Esquema de las implementaciones al equipo.</i>	41
<i>Ilustración 22 Levantamiento 3D de incubadora.</i>	42
<i>Ilustración 23 Levantamiento 3D de cubierta.</i>	42
<i>Ilustración 24 Levantamiento 3D de cubierta.</i>	43
<i>Ilustración 25 Levantamiento 3D de base.</i>	43
<i>Ilustración 26 Sistema de monitoreo.</i>	44
<i>Ilustración 27 Arquitectura del sistema de monitoreo.</i>	45
<i>Ilustración 28 Interfaz de usuario del sistema de monitoreo.</i>	45
<i>Ilustración 29 Monitoreo remoto.</i>	46
<i>Ilustración 30 Gráfico de dispersión.</i>	47
<i>Ilustración 31 Verificación y validación del desempeño del sistema.</i>	49

## ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1 Selección de Componentes.</i> .....	23
<i>Tabla 2 Conexiones ESP32</i> .....	24
<i>Tabla 3 Tabla de conexión Arduino Nano</i> .....	24
<i>Tabla 4 Pruebas de control automático</i> .....	47
<i>Tabla 5 Pruebas parte 2, de control automático</i> .....	48
<i>Tabla 6 Cronograma.</i> .....	56
<i>Tabla 7 Presupuesto</i> .....	60

## ÍNDICE DE DIAGRAMAS DE FLUJO

<i>Diagrama 1 Bucle de decisión, control ON/OFF.....</i>	<i>22</i>
<i>Diagrama 2 Bucle de decisión Sistema. ....</i>	<i>31</i>
<i>Diagrama 3 Bucle de decisión de Temperatura.....</i>	<i>33</i>
<i>Diagrama 4 Bucle de decisión Alarma.....</i>	<i>34</i>
<i>Diagrama 5 Bucle de decisión IoT.....</i>	<i>35</i>
<i>Diagrama 6 Bucle de decisión Arduino Nano.....</i>	<i>37</i>

## RESUMEN

Esta investigación tiene como propósito desarrollar un sistema de control automático para el equipo perteneciente a la carrera de enfermería de la Universidad Salesiana, que permita el control automático de las principales variables y el monitoreo remoto de las mismas incorporando tecnologías IoT; permitiendo a los estudiantes una mejor experiencia de aprendizaje.

Para esto, en primer lugar, se procedió a la revisión del equipo, y entrevista de los especialistas en neonatología, determinando que el equipo se trataba de un modelo antiguo de incubadora y no de una termo cuna. Posteriormente por medio de la recopilación y análisis de literatura especializada y documentación técnica se estudió los principios de operación y control de las incubadoras neonatales.

Para adaptar el equipo a las necesidades de los usuarios, se utilizó software CAD como planificador y visualizador de las modificaciones necesarias para la integración de un sistema sensorial y hardware especializado. Conjuntamente se trabajó en un sistema de monitoreo y control remoto, implementando la herramienta IoT de programación visual Node-RED, que permite la supervisión y control remoto de las variables críticas de la incubadora. Además, para asegurar una operación estable y controlada del equipo, se diseñó un sistema de control automático ON/OFF, que se utiliza para cerrar el proceso cuando la temperatura determinada es alcanzada.

La metodología aplicada para el desarrollo del proyecto consistió en: el diagnóstico inicial del equipo; el diseño y planificación del Hardware y Software; la implementación de los programas y los componentes electrónicos; y se realizaron pruebas y sesiones de simulación. Finalmente, para verificar la adecuación y validar la funcionalidad del sistema, se evaluó su desempeño mediante sesiones de formación práctica con estudiantes y docentes de la carrera, y se desarrolló un manual de usuario que asegure el correcto uso y mantenimiento del sistema.

Este proyecto cumplió con éxito los objetivos planteados, proporcionando una rehabilitación integral de las funciones de la incubadora y modernizándola al incorporar la función de monitoreo y control remoto en tiempo real a través de una interfaz web con

un sistema automático. Estas nuevas funcionalidades permiten que los estudiantes practiquen en un entorno simulado mejorando su preparación y competencias profesionales.

**Palabras claves:** Incubadora neonatal, IoT, control automático, temperatura.

## ABSTRACT

The purpose of this research is to develop an automatic control system for the team belonging to the nursing career of the Salesiana University, which allows the automatic control of the main variables and their remote monitoring incorporating IoT technologies; allowing students a better learning experience.

For this, first of all, the equipment was reviewed, and neonatology specialists were interviewed, determining that the equipment was an old model of incubator and not a thermo cradle. Subsequently, through the compilation and analysis of specialized literature and technical documentation, the principles of operation and control of neonatal incubators were studied.

To adapt the equipment to the needs of the users, CAD software was used as a planner and viewer of the modifications necessary for the integration of a sensory system and specialized hardware. Together, we worked on a remote monitoring and control system, implementing the Node-RED visual programming IoT tool, which allows remote supervision and control of the critical variables of the incubator. Furthermore, to ensure stable and controlled operation of the equipment, an automatic ON/OFF control system was designed, which is used to close the process when the determined temperature is reached.

The methodology applied for the development of the project consisted of: the initial diagnosis of the team; the design and planning of Hardware and Software; the implementation of programs and electronic components; and tests and simulation sessions were carried out. Finally, to verify the adequacy and validate the functionality of the system, its performance was evaluated through practical training sessions with students and teachers of the course, and a user manual was developed to ensure the correct use and maintenance of the system.

This project successfully met the stated objectives, providing a comprehensive rehabilitation of the incubator's functions and modernizing it by incorporating the remote monitoring and control function in real time through a web interface with an automatic system. These new functionalities allow students to practice in a simulated environment, improving their preparation and professional skills.

**Keywords:** Neonatal incubator, IoT, automatic control, temperature.

## INTRODUCCIÓN

En el ámbito de la enfermería uno de los campos de practica esencial es el cuidado neonatal, que involucra la atención especializada a recién nacidos prematuros, por lo tanto, la formación práctica desempeña un papel fundamental en la preparación de los futuros profesionales para enfrentar situaciones clínicas diversas y complejas.

Los bebés prematuros (bebés nacidos antes de cumplir las 37 semanas de gestación) se enfrentan a mayores riesgos para la salud que los que nacen a término, lo que requiere cuidados intensivos. Los cuidados intensivos de estos bebés requieren el uso de un dispositivo médico conocido como incubadora neonatal. El funcionamiento de la incubadora requiere un conocimiento significativo, y el personal médico debe ser capaz de controlar las condiciones dentro de la incubadora en todo momento.

Las incubadoras infantiles han tenido un impacto en la esperanza de vida de los bebes que nacen de 24 semanas de embarazo en adelante. Fue Martin Couney, un artista de circo de Alemania quien indico las tasas de supervivencia que proporcionaban las incubadoras. (Revista Interesante, 2023) Las incubadoras neonatales utilizan innovaciones como el control de presión de aire, la circulación del calor y el control de la humedad que ayudan a replicar las condiciones complejas que experimentaría un niño en el útero de su madre. Las incubadoras juegan un papel crucial al proporcionar un entorno controlado y seguro para los pacientes neonatales.

El Internet de las Cosas (IoT) es un concepto tecnológico que permite que el hardware u objetos, independientemente de su ubicación, se comuniquen a través de Internet sin intervención humana. (Fortino, G., Savaglio,C., Spezzano,G., & Zhou,M., 2021) El IoT ha sido ampliamente adoptado en varios aspectos de la vida para mejorar la vida diaria, incluso dentro del sector industrial. El IoT comprende componentes de hardware, redes y software. En este proyecto se aplicó la tecnología IoT en el ámbito sanitario, concretamente en incubadoras neonatales. (Aryanto, Maneetham, & Crisnapati, 2023)

Al rehabilitar la incubadora con tecnologías avanzadas, como el control automático e IoT, presenta una oportunidad única para integrar la enseñanza de habilidades clínicas con el aprendizaje de tecnología médica de vanguardia. Esta incubadora llegaría a brindar un entorno de aprendizaje practico para los estudiantes, donde también les permiten comprender y aplicar conceptos teóricos relacionado con el cuidado neonatal en un

entorno simulado pero realista.

En este sentido, este proyecto de rehabilitación de incubadoras con control automático e IoT para la práctica educativa en enfermería no solo aborda la necesidad de mejorar la infraestructura clínica, sino que también contribuye significativamente a la formación integral de los estudiantes de enfermería.



# **CAPÍTULO I**

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.1 Problema de estudio**

En la Carrera de Enfermería, se cuenta con un equipo adquirido a través de una donación a principio de los años 2000, destinada a ser utilizada en sesiones de simulación como parte de la formación de los estudiantes en el área de conocimiento neonatal.

En este sentido, este proyecto de rehabilitación para la práctica educativa en enfermería aborda la necesidad de mejorar la infraestructura clínica y contribuye significativamente a la formación integral de los estudiantes, incorporando tecnología avanzada con la educación práctica, preparando a los futuros profesionales para enfrentar los desafíos de la atención neonatal con competencia y confianza. Rehabilitar la incubadora perteneciente a la carrera de enfermería de Universidad Salesiana con tecnologías avanzadas, como el control automático e IoT, presenta una oportunidad única para integrar la enseñanza de habilidades clínicas con el aprendizaje de tecnología médica de vanguardia.

Después del acercamiento inicial a las instalaciones para conocer y revisar el equipo, y en base a la experiencia de los educadores de la carrera, se determinó que el equipo en cuestión se trata de una incubadora de modelo y edad indeterminada, de la cual se tiene poca información debido al contexto de su adquisición. Lamentablemente, desde el inicio su funcionamiento fue deficiente y posteriormente dejó de funcionar por completo. Durante la inspección se pudo establecer que la tarjeta de control que facilita la interfaz entre los usuarios y los componentes electrónicos de la incubadora, incluyendo sensores y actuadores se encuentra fuera de servicio. Dicho mal funcionamiento impide que los estudiantes puedan realizar sus prácticas de manera adecuada.

### **1.2 Antecedentes**

Las incubadoras son dispositivos médicos esenciales que proporcionan un ambiente controlado de temperatura y humedad para el cuidado de neonatos prematuros, de bajo peso o con otras condiciones que requieren atención especial. Estos dispositivos desempeñan un papel crucial en la supervivencia y el desarrollo saludable de los bebés,

ya que ayudan a mantener su temperatura corporal dentro de un rango óptimo y prevenir la hipotermia, que puede tener graves consecuencias para su salud.

En la formación de estudiantes de enfermería, la comprensión y práctica del monitoreo y control adecuado de las incubadoras son aspectos fundamentales para garantizar una atención de calidad en unidades neonatales. Sin embargo, la falta de acceso a equipos funcionales puede limitar las oportunidades de aprendizaje práctico y afectar la calidad de la formación.

Dentro de las implementaciones existentes se encontró un ejemplo de control automático y actualización de incubadoras en hospitales y centros de salud de Nigeria, este proyecto se ejecutó por la necesidad de mantener y renovar el equipamiento médico existente aplicando protocolos básicos como mantener el ambiente térmico de un recién nacido. Como resultado de esta implementación se determinó que el rendimiento de las incubadoras recicladas era similar al de las incubadoras modernas además se estableció que el índice de costo de las incubadoras recicladas era del 25% inferior al de una incubadora nueva. Por lo que el reciclaje adecuado de incubadoras es un método rentable para reequipar hospitales en países de bajos ingresos. (Amadi, 2007)

Para el objeto de este proyecto, durante la inspección se determinó el estado de la incubadora, se procedió a revisar los componentes, los actuadores funcionales y los requerimientos de funcionalidad del equipo en base a las necesidades de los usuarios, es decir los educadores y los estudiantes. La rehabilitación implica aprovechar los componentes aun funcionales para reducir los gastos de reparación: disminuir los residuos electrónicos; implementar nuevas tecnologías; y mejorar la experiencia del alumnado.

### **1.3 Importancia y alcance**

Partiendo de la premisa de que los profesionales de enfermería son los principales responsables de brindar atención directa a los recién nacidos hospitalizados, y los encargados del uso adecuado de los equipos, mientras dan prestación de cuidados, el cual debe ser calificado y libre de riesgos, la situación actual ha causado que los estudiantes de la carrera no puedan capacitarse debidamente en esta área en específico, significando un riesgo potencial para el profesional y el paciente. La rehabilitación de la incubadora y restauración de su funcionalidad son cruciales para garantizar que los estudiantes de enfermería adquieran una formación integral de calidad garantizando que estén mejor preparados para enfrentar los desafíos del cuidado neonatal en el contexto clínico real.

El presente proyecto permitirá identificar el mal funcionamiento de la tarjeta de control, evaluar las alternativas de solución y proponer una estrategia adecuada para restaurar la funcionalidad de la incubadora. Además, se implementará una tarjeta de control funcional, que tiene el propósito de mejorar la experiencia de formación práctica de los estudiantes y finalmente se formularán recomendaciones para el mantenimiento preventivo del dispositivo.

Como ocurre con todos los dispositivos tecnológicos, las incubadoras neonatales son susceptibles a sufrir un mal funcionamiento y un manejo inadecuado por parte de los profesionales, causando eventos adversos irreversibles sobre la salud del neonato. Por lo tanto, para que estos avances tecnológicos sean debidamente incorporados por los enfermero-as, es necesario conocer las correctas prácticas de manipulación del equipo, y la adquisición de conocimientos a través de formación específica, capacitación y educación continua. Por estas razones, el proyecto estudia estos manejos y mediante la integración de la IoT y el control automático pretenden facilitar el proceso de aprendizaje y como resultado aumentar la calidad de la prestación de cuidados.

#### **1.4 Delimitación**

El proyecto se llevará a cabo en la Carrera de Enfermería de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito, ubicada en Cayambe. Todas las actividades relacionadas con la rehabilitación de la incubadora y la implementación del control automático e IoT se realizarán en las instalaciones de dicha institución.

Se ejecutará durante un período de 5 meses, comenzando en 20 de noviembre y finalizando en 20 de mayo. Este marco temporal incluirá todas las etapas del proyecto, desde la evaluación inicial de la incubadora hasta la implementación final del sistema de control automático e IoT.

Se enfocará específicamente en el sector educativo, con el objetivo de mejorar las prácticas de enseñanza y aprendizaje en el campo de la enfermería neonatal. Si bien el proyecto tendrá implicaciones en el sector de la salud, su enfoque principal será la educación y formación de estudiantes de enfermería.

## **1.5 Objetivos**

### **1.5.1 Objetivo general.**

Desarrollar un sistema de control automático para la termocuna existente, que permita el monitoreo de las principales variables, incorporando tecnologías IoT.

### **1.5.2 Objetivo específico.**

- Investigar la base teórica y operativa de las termocunas, incluyendo los controladores necesarios, a través de la revisión de literatura especializada y documentación técnica.
- Adaptar la termocuna para la incorporación de un sistema sensorial y hardware especializado, utilizando software CAD para visualizar y planificar las modificaciones necesarias.
- Diseñar un sistema de control y monitoreo remoto que permita la supervisión de las variables críticas de la termocuna, aprovechando las tecnologías IoT.
- Desarrollar un sistema de control automático para gestionar las variables de proceso, asegurando una operación estable y controlada de la termocuna.
- Verificar y validar el desempeño del sistema de control automático e IoT implementados, mediante sesiones de formación práctica en la carrera de enfermería.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 Medicina neonatal.**

Las últimas décadas han traído importantes innovaciones en medicina. La esperanza de vida mejoró por ejemplo en USA: la tasa de mortalidad infantil disminuyó un 90% y la mortalidad materna disminuyó un 99%. Existen numerosos hitos importantes en neonatología. Sin embargo, los principios del soporte vital para los bebés prematuros pueden resumirse en unas pocas observaciones fundamentales que sientan las bases para la evolución de neonatología. Estos incluyen la observación de Silverman sobre el efecto de la hipotermia en la mortalidad neonatal, el uso “radical” de líquidos intravenosos de Usher en bebés prematuros, el informe de Gregory sobre el efecto de presión positiva continua en las vías respiratorias y algunas más. (J Bhatia Jatinder, 2011).

Este proyecto se enfocó en el efecto de la hipotermia en la salud y bienestar del paciente neonatal. Según las autoras del estudio de “Atención del neonato prematuro en la UCIN”, la valoración de enfermería del recién nacido prematuro es una rápida revisión de los sistemas encargados de su autorregulación, para identificar situaciones que exijan atención inmediata. Estas se relacionan casi siempre con el control térmico que pone en peligro la vida del neonato (Sánchez Pérez , Arévalo Mendoza, Figueroa Olea, & Nájera Nájera, 2014).

Los cambios térmicos del recién nacido lo hacen susceptible a las variaciones de la temperatura ambiental a la que está expuesto; por lo tanto, es indispensable la provisión de un ambiente térmico adecuado estrechamente vigilado. Dentro de las incubadoras o termo cunas se utilizan los sensores para la medición de la temperatura. Ésta oscila entre 38.5 y 39.5°C en modo ambiente; es útil para detectar alteraciones de manera temprana y evitar descensos considerables de la temperatura corporal. (Sánchez Pérez , Arévalo Mendoza, Figueroa Olea, & Nájera Nájera, 2014).

#### **2.2 Diferenciación entre termo cunas e incubadoras.**

En este proyecto, es fundamental aclarar que el equipo de estudio es una incubadora y no

una termo cuna. A continuación, se describen las principales diferencias entre ambos equipos:

- **Incubadora:** Proporciona un entorno controlado y estable para recién nacidos prematuros o con problemas médicos. Debido a su cúpula de acrílico y sistemas especializados, puede regular la temperatura, la humedad y en algunos casos, los niveles de oxígeno y monitorear signos vitales.
- **Termo cuna:** Mantiene a los recién nacidos a una temperatura constante y adecuada, Generalmente se utiliza en situaciones menos críticas pues no ofrece el mismo nivel de monitoreo que una incubadora. Al no poseer una barrera con el exterior, sus funciones son limitadas y tienden a verse afectadas por las condiciones del medio ambiente.

Para el tratamiento de casos de partos prematuros, en los primeros 60 minutos de vida, es necesario utilizar equipo apropiado con particular énfasis en el control de temperatura, esto es, en una incubadora que además provee un ambiente de humedad adecuado para una buena termorregulación. Esta es la principal diferencia entre termo cuna e incubadora: la capacidad de proporcionar un ambiente más controlado. (McDonald & Seshia, 2016)

### **2.3 Incubadora: Definición.**

El útero de la madre es un sistema complejo que proporciona las condiciones ambientales necesarias, así como las necesidades nutricionales y de otro tipo, para apoyar el crecimiento y desarrollo saludable del feto. El crecimiento y desarrollo de los bebés prematuros depende en gran medida de la eficacia con la que un sistema de tecnologías y personas en un entorno de atención pueda replicar los roles y funciones del sistema biológico, es decir, el útero. *Por lo tanto, la calidad de la atención al bebé debe considerarse como un producto del “sistema de incubación” holístico que requiere la cooperación entre muchos componentes tecnológicos y humanos diversos.* (Ferris TK, 2013)

Con métodos científicos, la incubadora para bebés crea un ambiente confortable con aire limpio, temperatura y humedad adecuadas para los recién nacidos, lo que puede evitar

infecciones en los recién nacidos, mejorar la resistencia del cuerpo y garantizar su mejor desarrollo y crecimiento. La incubadora para bebés puede proporcionar un buen ambiente con aire, temperatura y humedad adecuados para bebés prematuros y bebés con bajo peso al nacer. Puede hacer que la temperatura dentro de la incubadora se acerque automáticamente al valor establecido por el usuario, lo que la hace especialmente adecuada para bebés prematuros que carecen de la capacidad de autorregulación de la temperatura corporal. Es así como, la incubadora para bebés se ha convertido en un dispositivo médico necesario en el departamento de neonatología y departamentos relacionados, y el diseño de la incubadora para bebés también se ha convertido en el foco de atención de los académicos. (M. Zhao, 2020)

### **2.3.1. Principales componentes y funcionamiento de las incubadoras.**

**Incubadora cerrada.** Se utilizan generalmente para bebés que pesan <1800 g, se calientan por convección (flujo de aire caliente); Por lo tanto, no evitan la pérdida de calor radiante a menos que estén provistos de paredes de doble capa. Del mismo modo, la pérdida por evaporación se compensará solo cuando se agregue humedad adicional a la incubadora. Los cambios de temperatura corporal asociados con la sepsis pueden ser enmascarados por el sistema de control automático de temperatura de las incubadoras cerradas. Por lo tanto, estos cambios se expresarán en las variaciones de la temperatura ambiental de la incubadora. Un bebé puede ser destetado de la incubadora cuando su temperatura corporal puede mantenerse a una temperatura ambiente de <30,0 °C (generalmente cuando el peso corporal alcanza los 1600-1800 g). (Tricia Lacy Gomella, 2004).

Principales componentes:

- i. Sonda cutánea servo controlada adherida al abdomen del bebé. Si la temperatura baja, se suministra calor adicional. A medida que se alcanza la temperatura objetivo de la piel, la unidad de calentamiento se apaga automáticamente. Una posible desventaja es que puede producirse un sobrecalentamiento si el sensor de piel se separa de la piel.
- ii. Dispositivo de control de la temperatura del aire. Con este dispositivo, la temperatura del aire en la incubadora aumenta o disminuye dependiendo de la

temperatura medida del bebé. El uso de este modo requiere la atención constante de una enfermera y generalmente se usa en bebés mayores.

- iii. Sonda de temperatura del aire. Esta sonda se cuelga en la incubadora cerca del bebé y mantiene una temperatura del aire constante. Hay menos fluctuación de temperatura con este tipo de sonda.
  - iv. Cámara de Calor: La cámara principal donde se coloca al bebé, está diseñada para mantener una temperatura constante y apropiada.
  - v. Sistema de Calefacción: Generalmente compuesto por una fuente de calor radiante y un controlador de temperatura que mantiene la temperatura dentro de la cámara en el rango deseado.
  - vi. Sistema de Humidificación: Controle la humedad dentro de la cámara para mantener la piel de la bebé hidratada y prevenir la pérdida de agua.
  - vii. Sistema de Ventilación: Proporciona una circulación de aire fresco y filtrado dentro de la cámara para evitar la acumulación de dióxido de carbono.
  - viii. Ventanas y Puertas de Acceso: Permita que los profesionales médicos y los padres accedan al bebé sin alterar demasiado el ambiente controlado.
  - ix. Sistema de Monitoreo: Monitorea y muestra la temperatura, la humedad y otros parámetros críticos. También puede incluir monitores cardíacos, de oxígeno y otros monitores vitales.
  - x. Filtros de aire: Filtran el aire que entra en la cámara para mantener un ambiente estéril y libre de bacterias y virus.
  - xi. Alarmas y Sistemas de Seguridad: Alertan a los profesionales médicos si hay un cambio en las condiciones dentro o no está funcionando correctamente en el equipo.
  - xii. Bandejas y Compartimientos de Almacenamiento: Permita almacenar suministros necesarios como guantes, toallas estériles, etc., de manera conveniente y accesible.
  - xiii. Controladores y Pantallas Digitales: Permiten ajustar y monitorear las condiciones dentro del equipo, y pueden mostrar información vital sobre el estado del bebé.
- (Tricia Lacy Gomella, 2004)

## **2.4 Desarrollo histórico y tecnológico de las incubadoras.**

### **2.4.1 Historia de las Incubadoras.**

Los historiadores remontan los inicios del cuidado en incubadoras a Johann Georg von Ruehl en 1835 en el Hospital Imperial para Expósitos de San Petersburgo, Rusia. Sin



embargo, al obstetra francés Stéphane Tarnier (1828 –1897) se le atribuye haber concebido el desarrollo de “incubadoras” para bebés prematuros similares a las utilizadas para las “gallinas incubadoras”. En colaboración con un ingeniero de París, desarrolló un ingenioso sistema de calefacción de "termosifón" que hacía circular agua caliente entre una jaula metálica de doble pared que podía albergar cómodamente a dos bebés prematuros.

En 1880, se instalaron las incubadoras Tarnier en el Hospital de Maternidad de París, que se convirtió en la primera unidad de cuidados intensivos neonatales (UCI) del mundo. En 1915, el Dr. Julius Hess (1876 – 1955) introdujo una incubadora y una cama para bebés con camisa de agua y calefacción eléctrica en el Hospital Sarah Morris del Centro Médico Michael Reese en Chicago. Debido al calor eléctrico y otras características, esta incubadora podría mantener una temperatura interna constante con un límite máximo seguro y un suministro constante de aire fresco con una humedad "promedio normal".

Para el transporte se permitía un estándar suministrado con ruedas con rodamientos de bolas. Se colocó a los bebés en una “canasta para bebés” y la canasta se mantuvo sobre una plataforma de 2 pulgadas para permitir la libre circulación de aire a su alrededor. Esto también evitó que los bebés entraran en contacto directo con las paredes calentadas de la incubadora.

A pesar de sus inconvenientes, la incubadora se convirtió en un símbolo poderoso y duradero de lo que las máquinas pueden hacer para curar los problemas humanos que prevalece incluso hoy. (Philip, 2016)

## **2.5 Control Automático en Incubadoras.**

### **2.5.1 Principios del Control Automático.**

Si se considera que “la Ingeniería es una actividad involucrada en la comprensión y el control de los materiales y las fuerzas de la naturaleza en beneficio de la humanidad”. En tal sentido el control automático ha desempeñado una función vital en el avance de la ingeniería y la ciencia. (Ogata, 2010)

El control automático juega un papel fundamental en el diseño y funcionamiento de diversos dispositivos médicos, desde incubadoras y ventiladores hasta bombas de infusión y marcapasos cardíacos. La aplicación de principios de control automático permite:

i. Monitoreo y control de variables fisiológicas:

- Monitoreo de temperatura, presión arterial, frecuencia cardíaca, ritmo respiratorio y otros parámetros vitales.
- Control de temperatura en incubadoras, regulación de la presión en ventiladores mecánicos, ajuste del flujo en bombas de infusión y mantenimiento de la frecuencia cardíaca adecuada en marcapasos.

ii. Automatización de tareas repetitivas:

- Dosificación precisa de medicamentos, administración de oxígeno controlada, ajuste automático de la presión arterial y regulación del ritmo cardíaco.
- Reducción de la carga de trabajo del personal médico y minimización del riesgo de errores humanos.

iii. Mejora de la precisión y la eficiencia:

- Sistemas de control automático permiten una mayor precisión en el control de variables fisiológicas y la dosificación de medicamentos.
- Optimización del uso de recursos y reducción de costos en la atención médica.

iv. Aumento de la seguridad y la confiabilidad:

- Implementación de alarmas y sistemas de seguridad para prevenir eventos adversos y garantizar el funcionamiento correcto del dispositivo.
- Mejora de la confiabilidad y la disponibilidad de los dispositivos médicos. (Levine, 2011)

## 2.5.2 Fundamentos de control automático aplicados en dispositivos médicos.

### ▪ Teoría de sistemas.

Los sistemas dinámicos son aquellos en los que el tiempo juega un papel fundamental debido a que algunas partes cambian. Resulta fácil hallar ejemplos de sistemas dinámicos pues estos abundan en la naturaleza. Algunos ejemplos de sistemas dinámicos:

- El cuerpo humano.
- Un circuito eléctrico.
- Un móvil sometido a la acción de fuerzas.

Estos ejemplos ponen de manifiesto que el concepto de sistema es muy amplio y es manejado en diversas disciplinas y campos del conocimiento. (Carlos Bordóns Alba, 2001) En este caso, la incubadora puede ser considerada como un sistema dinámico compuesto por los siguientes componentes:

Bebé: El bebé es el elemento central del sistema, cuya temperatura corporal debe ser regulada y mantenida dentro de un rango específico para su supervivencia y bienestar.

Incubadora: La incubadora es el dispositivo que proporciona un ambiente controlado de temperatura y humedad para el bebé.

Sensores: Los sensores miden la temperatura y la humedad dentro de la incubadora, así como la temperatura corporal del bebé.

Controlador: El controlador recibe las señales de los sensores y las procesa para determinar las acciones necesarias para mantener la temperatura y la humedad dentro de los rangos deseados.

Actuadores: Los actuadores son los elementos que ejecutan las acciones controladas por el controlador, como ajustar la potencia del calentador o del humidificador.

Entorno: El entorno incluye factores externos como la temperatura ambiente y la humedad, que pueden afectar el funcionamiento de la incubadora.

Una vez determinado el sistema dinámico, proseguimos con el análisis de la respuesta en frecuencia ya que es una técnica utilizada para evaluar el comportamiento de un sistema dinámico ante señales de entrada sinusoidales de diferentes frecuencias. En el caso de las incubadoras, esta técnica puede ser útil para:

i. Caracterizar el comportamiento térmico de la incubadora:

Estabilidad, se puede analizar la estabilidad de la incubadora para determinar si oscila o si converge a un estado estacionario después de una perturbación. Se dice que un sistema es estable cuando: La respuesta del sistema a un impulso tiende a cero cuando el tiempo tiende a infinito. Ante una entrada acotada le corresponde una salida también acotada. (Díaz-Cordoves, 2009)

ii. Diseñar un controlador efectivo:

Optimización del rendimiento, se puede optimizar el rendimiento del controlador para minimizar el tiempo de respuesta, reducir las oscilaciones y mejorar la precisión del control de la temperatura.

iii. Monitorear el estado de la incubadora:

Mantenimiento preventivo, se puede realizar un monitoreo continuo de la respuesta en frecuencia de la incubadora para identificar posibles problemas antes de que causen fallas en el sistema.

▪ **Control Automático.**

- **Control en bucle cerrado:** Retroalimentación para el control preciso de variables fisiológicas y la corrección de errores. Los sistemas de control realimentados se denominan también sistemas de control en lazo cerrado. En la práctica, los términos control realimentado y control en lazo cerrado se usan indistintamente. En un sistema de control en lazo cerrado, se alimenta al controlador la señal de error de actuación, que es la diferencia entre la señal de entrada y la señal de realimentación (que puede ser la propia señal de salida o una función de la señal de salida y sus derivadas y/o integrales), con el fin de reducir el error y llevar la salida del sistema a un valor deseado. El término control en lazo cerrado siempre implica el uso de una acción de control realimentado para reducir el error del sistema. (Ogata, 2010)
- **Control PID** (Proporcional-Integral-Derivativo): Algoritmo de control ampliamente

utilizado en dispositivos médicos debido a su simplicidad y efectividad.

- **Control lógico:** Implementación de reglas y condiciones para la toma de decisiones en sistemas de control médico.
- **Control adaptativo:** Ajuste automático de los parámetros de control en función de las condiciones cambiantes del paciente o del entorno.

Consideraciones adicionales:

Diseño robusto: los sistemas de control automático en dispositivos médicos deben ser robustos y capaces de funcionar correctamente en entornos variables y ante fallas potenciales.

Seguridad y confiabilidad: la seguridad y la confiabilidad son aspectos críticos en el diseño de sistemas de control médico. Se deben implementar medidas de seguridad para prevenir eventos adversos y garantizar el funcionamiento correcto del dispositivo.

Regulaciones, los dispositivos médicos deben cumplir con regulaciones estrictas para garantizar su seguridad y eficacia.

En resumen, el control automático juega un papel fundamental en el diseño y funcionamiento de diversos dispositivos médicos, permitiendo un monitoreo preciso, control de variables fisiológicas, automatización de tareas y mejora de la seguridad y la eficiencia en la atención médica.

Ejemplos de aplicaciones de control automático en dispositivos médicos:

- Incubadoras: Control de temperatura y humedad para mantener un ambiente adecuado para el bebé.
- Ventiladores mecánicos: Control de la presión y el volumen de aire suministrado al paciente.
- Bombas de infusión: Control preciso del flujo de medicamentos para una dosificación segura y efectiva.
- Marcapasos cardíacos: Control del ritmo cardíaco y la frecuencia de estimulación.
- Monitores de signos vitales: Monitoreo continuo de la temperatura, presión arterial, frecuencia cardíaca y ritmo respiratorio, con alarmas para detectar eventos adversos.

### 2.5.3 Implementaciones Existentes.

Se encontró un ejemplo de implementación de control automático y actualización de equipos.

**“Incubadoras recicladas digitalmente: mejores alternativas económicas a los sistemas modernos en países de bajos ingresos.”**

La necesidad de mantener un ambiente térmico neutro es fundamental para el cuidado del recién nacido.

Objetivo: investigar las razones de la insuficiencia de incubadoras funcionales y desarrollar una técnica rentable para utilizar componentes electrónicos digitales para reciclar incubadoras obsoletas en Nigeria.

Métodos: Tras entrevistar a 84 médicos y administradores de hospitales nigerianos, se identificó que la financiación inadecuada era la razón principal de la falta de incubadoras funcionales. Luego se crearon dos grupos de unidades incubadoras y se comparó su rendimiento. Se obtuvieron de seis hospitales dieciséis unidades de incubadoras modernas (grupo A) y 19 unidades de incubadoras obsoletas (grupo B). Se especificó y produjo un diseño de ensamblaje aplicando componentes genéricos independientes para sistemas de reciclaje. Estos se obtuvieron a través de Internet a un costo competitivo y se instalaron en los paneles reconstruidos de los sistemas obsoletos. El desempeño funcional de cada sistema reciclado fue monitoreado rigurosamente durante 6 meses y calificado utilizando diez índices de desempeño. Se utilizaron los mismos índices para cuantificar los sistemas del grupo A.

Resultados: Se encontró que el rendimiento de las incubadoras recicladas (grupo B) era similar al de las incubadoras modernas. Se encontró que el índice de costos del grupo B era el 25% del del grupo A.

Conclusión: El reciclaje adecuado de incubadoras es un método rentable para reequipar hospitales en países de bajos ingresos.” (Amadi, 2007)

## 2.6 Internet de las cosas (IoT) en el ámbito médico.

*Ilustración 1 Internet de las cosas en ámbito médico.*



*Fuente: Eduardo\_D, Ing. Huawei.com.*

### 2.6.1 IoT en medicina.

Internet de las Cosas o IoT se refiere a una red de objetos, dispositivos, vehículos y otras cosas que contienen circuitos electrónicos, software, sensores y están vinculados a la red. Por tanto, estos objetos pueden almacenar y transmitir datos. (Albadrani, 2019) IoT permite que los objetos perciban su entorno y puedan controlarse de forma remota a través de su infraestructura existente. Es por eso que el mundo físico y el sistema informático se integran de manera más fluida. Los resultados son eficiencia, precisión, y mayores beneficios económicos (Alshehri, 2019).

Cuando IoT venga con sensores y actuadores que, como mecanismo para convertir la energía en movimiento, se convertirá en un sistema categorizado como sistema ciber físico. Esto también incluye tecnologías como redes inteligentes, hogares inteligentes, transporte y ciudades inteligentes. Cada objeto puede identificarse por separado a través del sistema informático integrado y pueden funcionar juntos en la estructura de Internet existente. (Vijayasaro, 2019)

## 2.6.2 Casos de uso de IoT en cuidado neonatal.

**IoMT.** Se trata de dispositivos médicos capaces de comunicarse vía internet para transferir información sobre los pacientes. Son los dispositivos y aplicaciones médicas dedicadas a la digitalización y transformación de los procesos sanitarios.

- Transmisión de datos mediante el módulo WLAN ESP8266.

Las arritmias cardíacas son una de las principales causas de aumento de la mortalidad neonatal y suponen una pesada carga para el entorno médico.

El sistema de monitoreo de ECG basado en ECG IoMT propuesto se desarrolla utilizando ESP8266 producido por Espressif Systems en Shanghai, China. Es un chip modular de bajo costo con un procesador RISC de 32 bits que se usa ampliamente en el rápido desarrollo de sistemas de sensores inteligentes y soluciones basadas en IoT. El propósito de utilizar este módulo WiFi es conectarse directamente con el microcontrolador para transmitir datos de señal de ECG. Este módulo WiFi actúa como un puente de comunicación crucial entre las señales de ECG y los datos a través de la red. Tiene una capacidad de procesamiento del 80 % para sistemas de usuario relacionados con la red. (Qurat-ul-ain Mastoi, 2023). El módulo ESP WiFi se muestra en la Ilustración 2.

*Ilustración 2 Modulo ESP8266.*



*Fuente: AV Electronics*

- El Internet de las cosas ha permitido la conectividad de los dispositivos de imágenes médicas a la columna vertebral de datos del sector sanitario. Este desarrollo, posible gracias al IoT, acelerará las fases de diagnóstico y tratamiento de la atención médica.



La combinación de equipos médicos, sensores y otros sistemas de atención médica en una infraestructura en red, que permite la recopilación, el análisis y el intercambio de datos médicos para mejorar los resultados de la atención médica. La plataforma Deep-IoMT combina el aprendizaje profundo con IoT para mejorar la precisión de los datos de imágenes cardíacas extraídos de dispositivos, instrumentos y equipos tradicionales ruidosos. Las recientes innovaciones tecnológicas también han despertado la atención del público. Dispositivos pequeños, livianos y equipados con sensores están facilitando el progreso en muchos campos, incluida la atención médica. (Archana S. Nadhan, 2024)

## **2.7 Aplicación de tecnología en la educación de enfermería.**

### **2.7.1 Tecnología educativa en enfermería.**

- Simulación clínica, los simuladores de pacientes y entornos clínicos virtuales permiten a los estudiantes de enfermería practicar habilidades clínicas en un entorno seguro y controlado antes de interactuar con pacientes reales.
- Aprendizaje en línea, los cursos en línea y las plataformas de aprendizaje a distancia brindan a los estudiantes flexibilidad y acceso a materiales educativos de alta calidad desde cualquier lugar y en cualquier momento.
- Realidad aumentada y realidad virtual, la realidad aumentada y la realidad virtual ofrecen experiencias de aprendizaje inmersivas que permiten a los estudiantes visualizar y comprender conceptos médicos complejos de manera interactiva.
- Aplicaciones móviles, las aplicaciones móviles educativas proporcionan a los estudiantes acceso a información médica actualizada, herramientas de evaluación y recursos de aprendizaje en sus dispositivos móviles.
- Inteligencia artificial, la inteligencia artificial (IA) se está utilizando para desarrollar sistemas de tutoría inteligentes que pueden proporcionar a los estudiantes retroalimentación personalizada y apoyo en tiempo real durante su aprendizaje. (Gómez., 2023)

*Ilustración 3 Mejora de la calidad de vida de los pacientes al gestionar y recopilar datos para poder detectar y prevenir enfermedades.*



*Fuente: Eduardo\_D, Ing. Huawei.com*

### **2.7.2 Beneficios y Desafíos.**

Se discute los beneficios de utilizar tecnología avanzada como las incubadoras IoT en la educación, así como los desafíos asociados. Entre los diversos dispositivos empleados en las unidades neonatales y utilizados por los equipos de enfermería, las incubadoras representan uno de los más importantes. Para obtener una atención segura y efectiva, dicho equipo requiere no solo recursos materiales apropiados, sino también manejo por parte de profesionales capacitados. Enfermería entrega los principales profesionales responsables de brindar atención directa a los recién nacidos hospitalizados y que son responsables del uso adecuado de los equipos y de la gestión de dicha atención, la cual debe ser calificada y libre de riesgos.

Para ser eficiente, la tecnología no puede depender únicamente de la disponibilidad de recursos materiales, sino que es complementado por el conjunto de conocimientos y habilidades de los integrantes del equipo que lo utilizan. Esto incluye vigilancia de equipos, dominio de maquinaria y observación del lenguaje tecnológico. (Pires DE, 2012)

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1 Descripción**

El marco metodológico de este proyecto describe las etapas, técnicas y métodos utilizados para llevar a cabo la rehabilitación de una incubadora con control automático e IoT para la práctica educativa en enfermería. Este proceso se estructura en varias fases: diagnóstico inicial, diseño de la solución, implementación y prueba, y finalmente la evaluación y capacitación.

#### **3.2 Diagnóstico inicial**

##### **3.2.1 Evaluación de la Incubadora**

###### **▪ Inspección Física y Técnica**

Se realizó una inspección detallada de la incubadora donada para identificar los componentes funcionales y no funcionales. La incubadora es de procedencia italiana de los años 2000. Los principales componentes son:

- Cámara de calor: Su estructura se encuentra en buenas condiciones con algunas fisuras que son fáciles de arreglar.
- Sistema de Calefacción: La bobina que genera el calor se ve en buenas condiciones, debido a su tamaño y composición se va a trabajar sobre ella.
- Sistema de Humidificación: El sistema consta de un compartimiento donde se conserva el agua para humidificar la cámara de calor, se va a trabajar sobre ese sistema.
- Sistema de Ventilación: Consta de un pequeño ventilador que no genere muchas vibraciones y ruido importante para el neonato. Por ejemplo, la incubadora de bebés puede provocar un ruido excesivo debido al envejecimiento del dispositivo. En circunstancias normales, el nivel de ruido de la incubadora no debe superar los 55dB. Un ruido demasiado alto afecta el desarrollo normal del sentido auditivo del bebé prematuro.
- Ventanas y puertas de acceso: Deben tener un mantenimiento mas no remplazo.
- Sistema de monitoreo: El sistema de monitoreo es inexistente.
- Alarmas y Sistemas de Seguridad: No están funcionando.

- Bandejas y Compartimientos de Almacenamiento: requieren mantenimiento.
- Controladores y Pantallas Digitales: No están funcionando.

*Ilustración 4 Estado inicial de la incubadora.*



*Fuente: Autor.*

#### ▪ **Identificación del problema principal**

Se determinó que la tarjeta de control estaba fuera de funcionamiento, impidiendo el uso adecuado de la incubadora.

#### **3.2.2 Recolección de Requisitos.**

- Consultas con Expertos: Se llevaron a cabo entrevistas con profesionales en ingeniería biomédica y personal docente de enfermería para entender las necesidades y especificaciones técnicas necesarias para la rehabilitación.
- Revisión de Literatura: Se revisaron estudios y manuales técnicos sobre el funcionamiento y control de incubadoras neonatales para obtener un marco de referencia adecuado.

#### **3.3 Diseño de la Solución**

Las especificaciones técnicas básicas de una incubadora infantil moderna calentada por convección se enumeran a continuación:

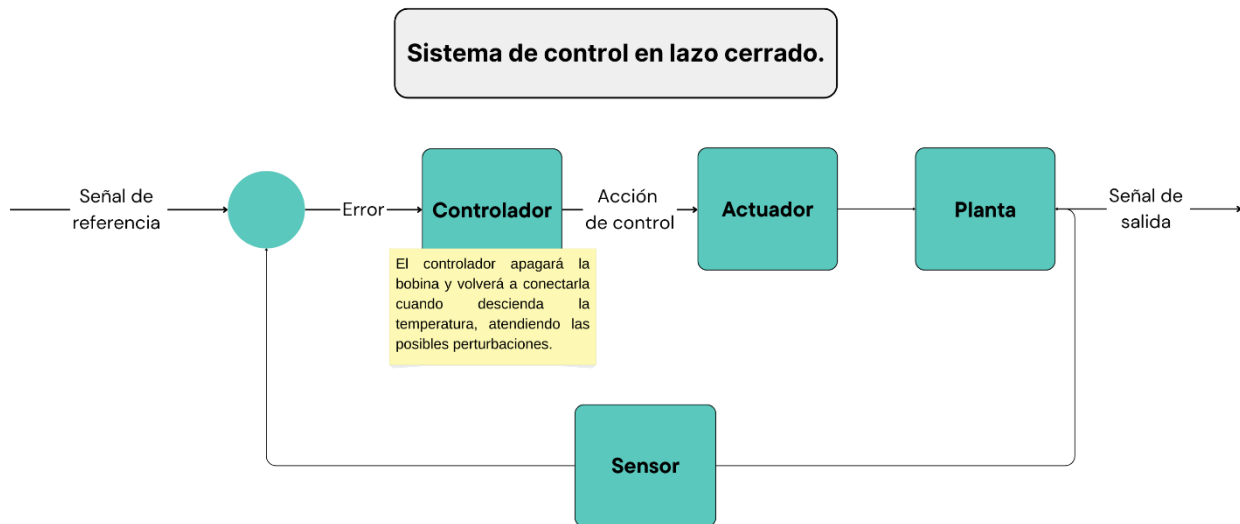
- Circuito de control de temperatura de tipo On/Off;
- Regulación electrónica de la temperatura para determinar termostáticamente la temperatura del aire dentro de la cámara del bebé (modo de control de la temperatura del aire) o la temperatura de la piel del bebé (modo de servo control de la temperatura de la piel). Modo piel o servo control: Todas las incubadoras tienen un sensor que mide la temperatura corporal del recién nacido. Este sensor se llama servo control y se pega a la piel del bebé. Al ser un equipo de simulación solo se controló la temperatura del aire dentro de la cámara.
- Sistema de control de humedad que controla automáticamente la humidificación a una configuración preseleccionada para mantener con precisión la humedad relativa en la incubadora a un nivel constante, dentro del rango de 30 a 95%; (Roberto Antonucci, 2019)
- Conexiones Arduino y ESP32; alarmas visuales y auditivas para: temperatura del aire (39.8 °C), falla del sensor, falla del circuito electrónico, falla de la línea eléctrica y suministro de agua vacío.

### **3.3.1 Diseño del Sistema de Control Automático**

En el control automático sobre la climatización de la incubadora, el panel servirá para que el usuario seleccione la temperatura deseada (entrada), la temperatura de la cámara será la salida y las pérdidas de calor por transmisión o las aperturas de los accesos a la incubadora, las perturbaciones. El objetivo será que la temperatura de la cámara se mantenga al valor deseado.

Se determino que es un sistema de control en lazo cerrado, la señal de salida se compara con la señal de referencia para obtener una señal de error. La señal de error obtenida entra al controlador para que este actúe sobre la incubadora y reducir el error, llevando la salida del sistema al valor deseado. El sistema utiliza un sensor que detecta la respuesta real para compararla, entonces, como una referencia a manera de entrada.

Diagrama 1 Bucle de decisión, control ON/OFF.



Fuente: Autor.

El controlador se inserta en el sistema con el objetivo de cumplir unas especificaciones y mejorar el comportamiento de este: estabilidad, velocidad y precisión. Desafortunadamente, suele suceder que cuando mejora alguna de ellas, una o las dos restantes empeoran, por lo que se hace necesario un compromiso que satisfaga, en la medida de lo posible, las especificaciones funcionales del sistema; así, el controlador debe también garantizar una determinada estabilidad relativa y una velocidad de respuesta dentro de los márgenes específicos. Se especificó una acción de control no lineal, generando una acción de control limitada. En este proyecto se estableció un control ON/OFF que únicamente tiene dos estados.

El control es útil porque la oscilación, inherente de estos controladores, alrededor de señales de error cero no ocasione problemas ni al elemento de control ni al sistema en sí mismo. Sin embargo, es posible minimizar esta oscilación mediante estrategias adicionales como puede ser el uso de una banda muerta o lazos de histéresis. Control on/off con lazo de histéresis, se observa que el control no actúa cuando la señal de error se encuentra dentro del rango.

#### ▪ Selección de Componentes

Basado en la evaluación inicial, se seleccionaron los componentes electrónicos necesarios, incluyendo una nueva tarjeta de control, sensores de temperatura, humedad, y actuadores.

*Tabla 1 Selección de Componentes.*

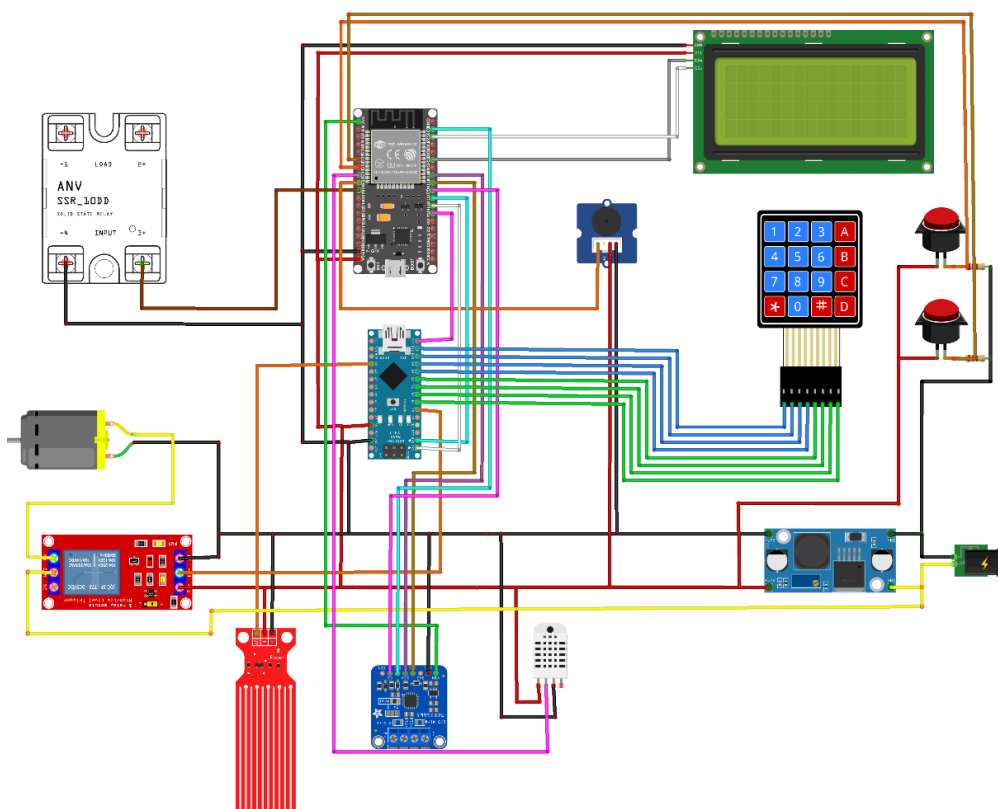
<b>MCU ESP32 DEV KIT 1</b>
<b>Arduino Nano</b>
<b>MAX31865 PT100</b>
<b>DHT22</b>
<b>Sensor de nivel de líquido N78</b>
<b>Sensor PT100</b>
<b>Relé estado sólido de 25A - Input DC</b>
<b>Modulo relé de un canal</b>
<b>Mini bomba</b>
<b>LCD 20x4 I2C</b>
<b>Teclado matricial de membrana</b>
<b>Modulo Buzzer</b>
<b>Step down LM2596</b>
<b>Fuente de 12V – 10A</b>
<b>Botones</b>

*Fuente: El autor*

▪ **Arquitectura del Sistema**

Se diseñó un esquema detallado de la arquitectura del sistema, incluyendo la integración de IoT para el monitoreo y control remoto de la incubadora.

*Ilustración 5 Conexiones entre Arduino y ESP32*



*Fuente: Autor.*

- i. **Conexiones Arduino y ESP32:** Las conexiones que tiene los dos microcontroladores utilizados con sus respectivos pines y conexiones son las que se pueden ver en las siguientes tablas:

*Tabla 2 Conexiones ESP32*

<b>PIN</b>	<b>CONEXIÓN</b>
<b>16</b>	Arduino TX
<b>17</b>	Arduino RX
<b>5</b>	Max31865 CS
<b>23</b>	Max31865 SDI
<b>19</b>	Max31865 SDO
<b>18</b>	Max31865 CLK
<b>33</b>	DHT22
<b>21</b>	SDA LCD
<b>22</b>	SCL LCD
<b>25</b>	Buzzer
<b>26</b>	Rele de Estado Solido
<b>32</b>	Pulsador Start
<b>35</b>	Pulsador Stop
<b>4</b>	Pin 12 Arduino

*Fuente: El autor*

*Tabla 3 Tabla de conexión Arduino Nano*

<b>PIN</b>	<b>CONEXIÓN</b>
<b>13</b>	LED
<b>12</b>	Pin 4 MCU
<b>11</b>	Keypad Fila 1
<b>10</b>	Keypad Fila 2
<b>9</b>	Keypad Fila 3
<b>8</b>	Keypad Fila 4
<b>7</b>	Keypad Columna 1
<b>6</b>	Keypad Columna 2
<b>5</b>	Keypad Columna 3
<b>4</b>	Keypad Columna 4
<b>3</b>	Rele Bomba
<b>1</b>	Pin RX MCU
<b>0</b>	Pin TX MCU
<b>A0</b>	Sensor de Nivel de Agua

*Fuente: El autor*



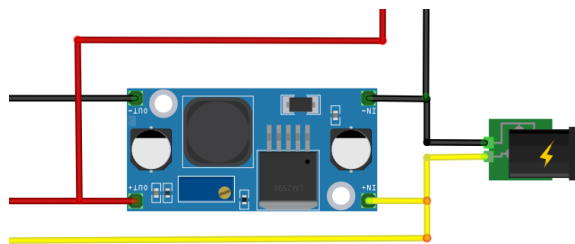
El sistema consta de varias etapas las cuales se describirá a continuación:

- Etapa de alimentación.
- Etapa de control humedad.
- Etapa de control temperatura.
- Etapa de interfaz de usuario.

## ii. Etapa de alimentación.

Esta etapa está comprendida por la fuente de 12v y el regulador de voltaje LM2596 el cual reduce el voltaje hasta 5v los necesarios para alimentar todos los componentes electrónicos necesarios del sistema.

*Ilustración 6 Etapa de alimentación*

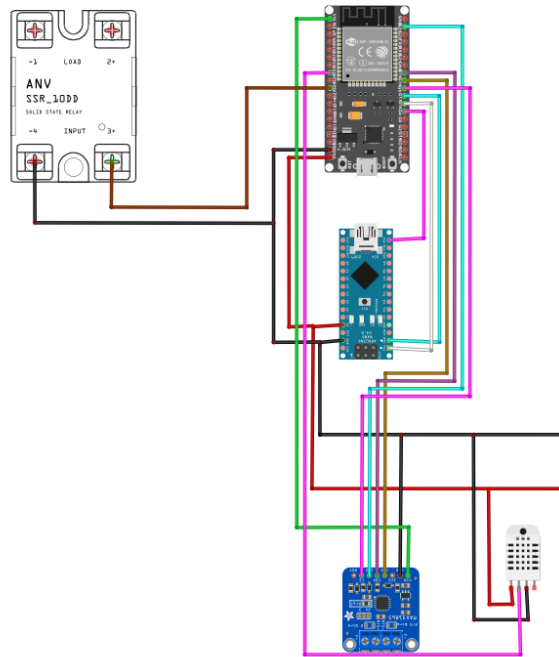


*Fuente: Autor.*

## iii. Etapa de control temperatura.

Etapa comprendida por el microcontrolador ESP32, Relé de estado Sólido, y los sensores de temperatura PT100 y DHT22, más adelante se dará a conocer el funcionamiento del sistema completo:

*Ilustración 7 Etapa de control de temperatura*

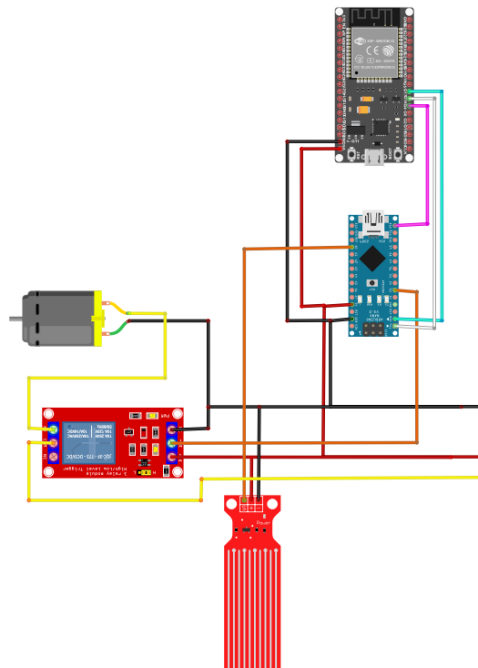


*Fuente: Autor.*

**iv. Etapa de control humedad.**

Igual que las anteriores etapas, está constituido por MCU ESP32, Arduino Nano, modulo relé de un canal, mini bomba, y el sensor de nivel de agua N78.

*Ilustración 8 Etapa de control de humedad.*

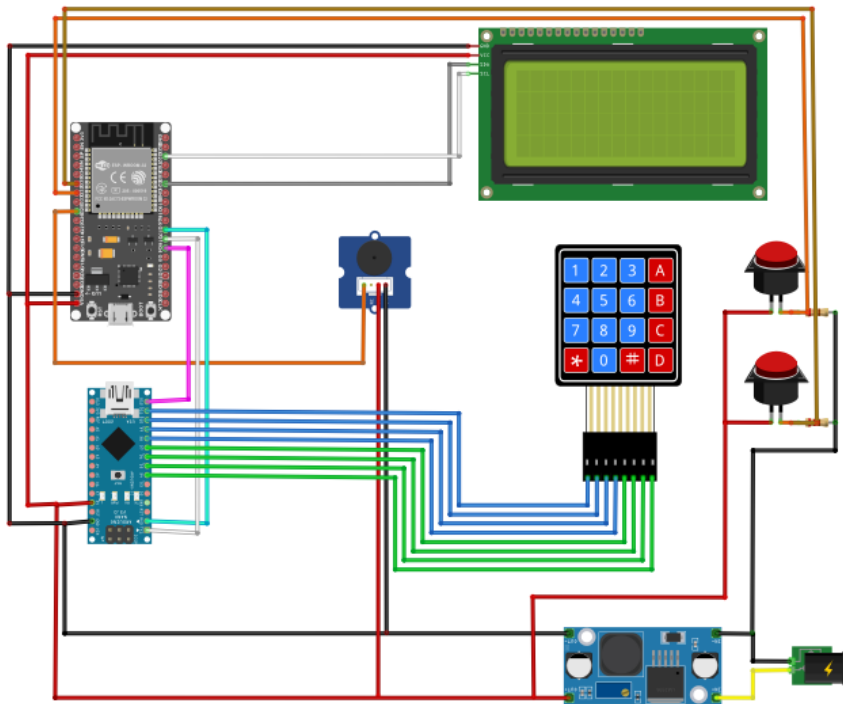


*Fuente: Autor.*

**v. Etapa de interfaz usuario.**

Para esta etapa se utilizó, teclado matricial, microcontrolador ESP32, Arduino Nano, LCD 20X4 con I2C y un Buzzer, todo estos conforman este sistema como se muestra en la ilustración.

*Ilustración 9 Etapa de interfaz de usuario.*



*Fuente: Autor.*

**3.3.2. Funcionamiento del Sistema**

El sistema controla la temperatura de la incubadora mediante la utilización y control de una resistencia térmica y la humedad se mantiene gracias al reservorio de agua con un sistema de llenado automático; la temperatura de control es ingresada por el usuario directamente mediante el teclado y la pantalla, esta temperatura se almacena en la memoria interna del microcontrolador, es decir si el sistema se apaga la temperatura almacenada se mantiene.

Una vez que el usuario ingresa la temperatura tanto de la incubadora como la temperatura de alarma, mediante los pulsadores de Start y Stop se inicia o se detiene el sistema; cuando el sistema inicia la resistencia termina empieza a trabajar de tal manera que calienta la incubadora y mantiene la temperatura en los parámetros configurados anteriormente. Estos datos, tanto de temperatura y humedad mediante la comunicación WIFI, se conecta

a la plataforma Node-Red la cual almacena esta información y los usuarios pueden revisar o monitorear dichos datos en cualquier parte del mundo, solo es necesario conexión a internet.

### **3.3.3. Desarrollo del Software**

#### **▪ Diseño CAD**

El software de diseño asistido por ordenador (CAD) o CAD 3D se utiliza para crear, analizar o cambiar diseños y modelos bidimensionales o tridimensionales en un entorno digital en lugar de utilizar métodos de dibujo manuales. Arquitectos, ingenieros, diseñadores comerciales e industriales y artistas suelen utilizar CAD. Tradicionalmente, existen dos enfoques principales para crear y modificar geometría en CAD 3D: modelado basado en el historial (también conocido como ordenado o basado en características) o modelado directo.

En el modelado basado en historial, la estructura y el orden de las entidades controlan cómo reaccionan los modelos a los cambios o ediciones. Esto crea resultados predecibles a partir de ediciones en bocetos de operaciones subyacentes mediante cambios de medidas precisos. El modelado directo no mantiene un historial de entidades ni registra cómo se construye un modelo. No existen operaciones basadas en bocetos que conformen la pieza. La edición se realiza simplemente seleccionando lo que desea cambiar y cambiándolo. (2024, s.f.)

#### **▪ Programación de la Tarjeta de Control.**

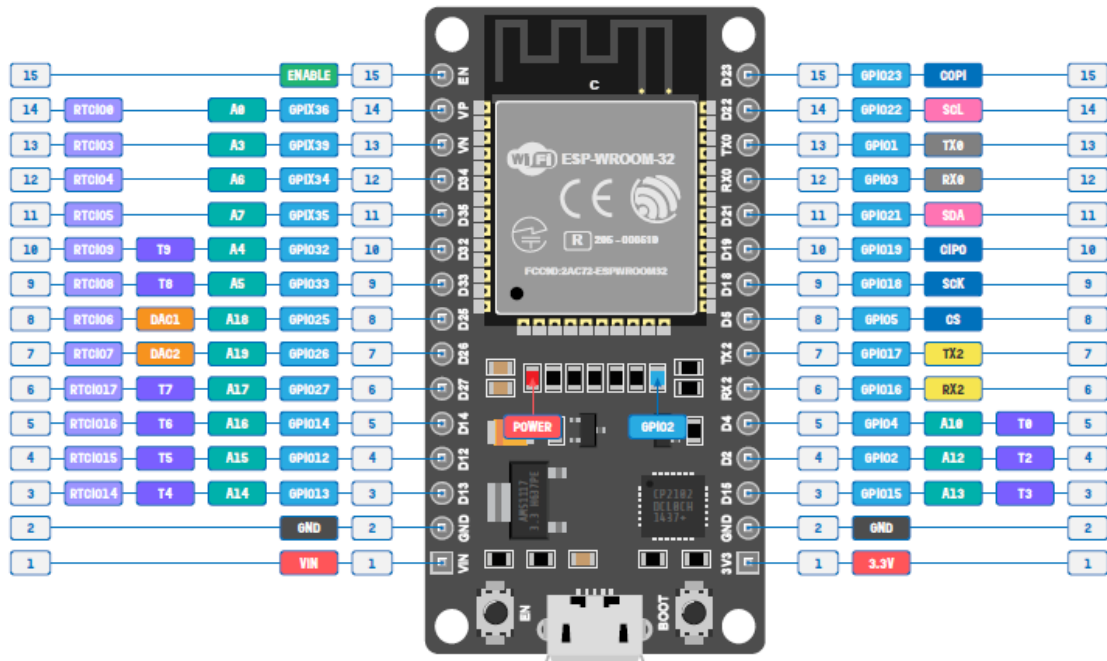
Se desarrolló el software necesario para la nueva tarjeta de control utilizando lenguajes de programación adecuados.

#### **– ESP32:**

En la serie ESP32, DOIT ESP32 DevKit V1 es probablemente la placa de desarrollo más famosa basada en el igualmente popular SoC ESP32 Wi-Fi.

Su tamaño compacto, su alta eficiencia energética y la inclusión de un circuito de carga integrado son ventajas para múltiples aplicaciones, como hogares inteligentes y soluciones industriales de Internet de las cosas (IoT). Los factores importantes que contribuyen a su selección son la capacidad de comunicación inalámbrica y la disponibilidad de pines analógicos. (He, 2024) La Ilustración 3 presenta la distribución de pines del ESP32 Dev Kit V1.

Ilustración 10 ESP32 DevKit V1.



Fuente: Pin out diagrama. (Mohanana, 2024)

La programación inicia la con la declaración de librería las cuales se muestran en la imagen:

Ilustración 11 Declaración de librerías.

```
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <Adafruit_MAX31865.h>
#include "DHT.h"
#include <Preferences.h>
#include <ArduinoJson.h>
#include <WiFi.h>
#include <PubSubClient.h>
#define DHTPIN 33
#define RXp2 16
#define TXp2 17
#define DHTTYPE DHT22
```

Fuente: Autor.

Dichas librerías sirven para la administración de las distintas placas electrónicas como por ejemplo el MAX31865 el cual se encarga de la lectura del sensor PT100. Una vez se declara las librerías, se procede a la declaración de variables tanto de control, como

variables de configuración para la conexión Wifi.

*Ilustración 12 Creación de variables.*

```
StaticJsonDocument<128> doc;
doc["Dispositivo"] = "Incubadora V1.1";
doc["TemperaturaR"] = t1_2;
doc["TemperaturaC"] = t_2;
doc["Humedad"] = h_2;
doc["TReal"] = r_2;
String output;
serializeJson(doc, output);
client.publish("Incubadora", output.c_str());
```

*Fuente: Autor.*

Después de la declaración de variables, se continua con la etapa de configuración, y conexión a internet, además de la lectura interna de temperatura guardadas en memoria.

*Ilustración 13 Etapa de configuración.*

```
void setup()
{
  digitalWrite(buzz,LOW);
  Serial.begin(115200);

  ubidots.connectToWifi(WIFI_SSID, WIFI_PASS);
  ubidots.setCallback(callback);
  ubidots.setup();
  ubidots.reconnect();

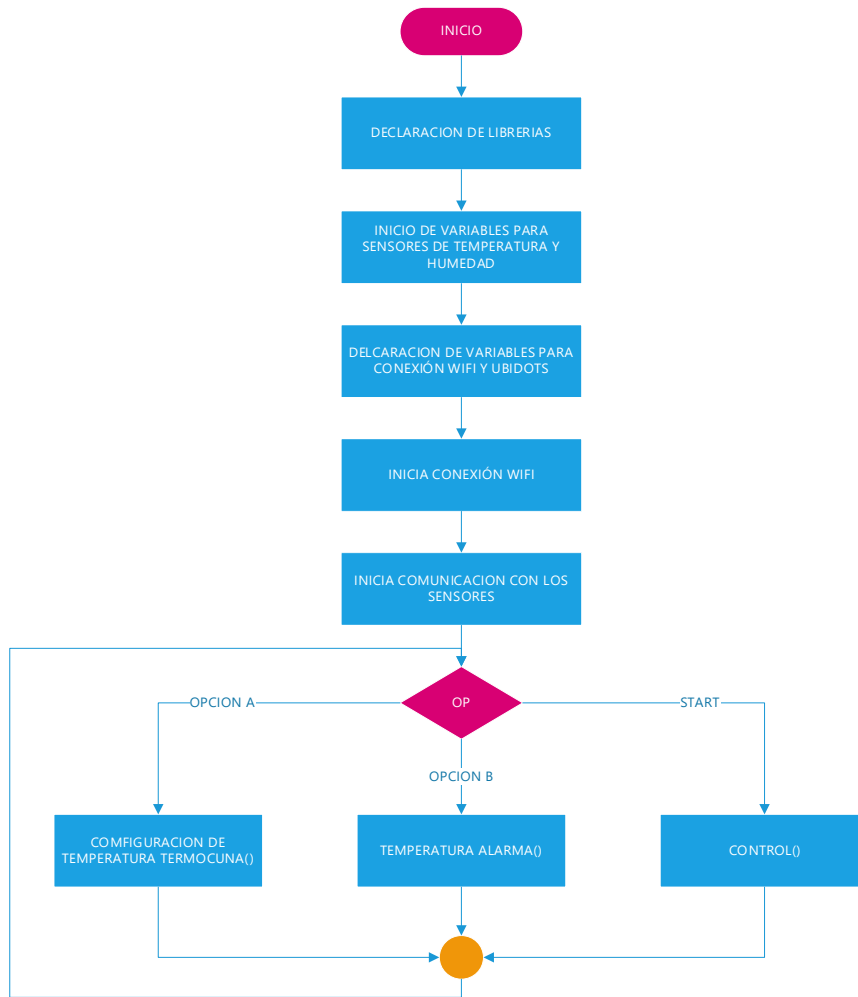
  Serial2.begin(9600, SERIAL_8N1, RXP2, TXP2);
  Serial.println("Adafruit MAX31865 PT100 Sensor Test!");
  thermo.begin(MAX31865_2WIRE);
  dht.begin();
  lcd.init();
}
```

*Fuente: Autor.*

A continuación, entra en un bucle infinito donde existe un menú por ello existe varias funciones la cuales se describirán después, como se observa en el diagrama se tiene 3 funciones principales dadas por 3 opciones:

- Opción A: la cual guía a la función de configuración de temperatura de la Cuna.
- Opción B: la cual guía a la función de configuración de la temperatura de alarma.
- Control: la cual se encargará del control de temperatura del sistema de manera automática.

Diagrama 2 Bucle de decisión Sistema.



Fuente: El autor

– **ESP32 Función Configuración de Temperatura:**

Para esta función como primer paso se realiza el proceso de visualización de los datos en pantalla en este caso de la temperatura, a continuación, se realiza una iniciación de variables para almacenar los nuevos datos como se muestra en la Ilustración 14.

*Ilustración 14 Configuración de display.*

```
//===== reconexion =====  
void reconnect() {  
  // Loop until we're reconnected  
  while (!client.connected()) {  
    Serial.print("Attempting MQTT connection...");  
    // Create a random client ID  
    String clientId = "ESP32Client-";  
    clientId += String(random(0xffff), HEX);  
    // Attempt to connect  
    if (client.connect(clientId.c_str())) {  
      Serial.println("connected");  
      client.subscribe("inTopic");  
    } else {  
      Serial.print("failed, rc=");  
      Serial.print(client.state());  
      Serial.println(" try again in 5 seconds");  
      // Wait 5 seconds before retrying  
      delay(5000);  
    }  
  }  
}
```

*Fuente: Autor.*

Después el sistema entra en un ciclo infinito donde lee la información del puerto del serial el cual recibe la información del Arduino nano y este a su vez del teclado, cabe recalcar que el Arduino Nano se utilizó para la utilización del teclado y él envió de los datos por serial, según la opción o tecla que se presione al teclado se realizara la opción es decir el sistema posee un submenú donde:

- Opción A: almacena el dato ingresado por teclado.
- Opción B: Borra el dato ingresado y a su vez la pantalla.
- Opción C: Regresa al menú principal. Cualquier tecla: pone en pantalla el número es decir cada vez que se teclea ingresa el valor.



Ilustración 15 Publicación de datos en puerto serial.

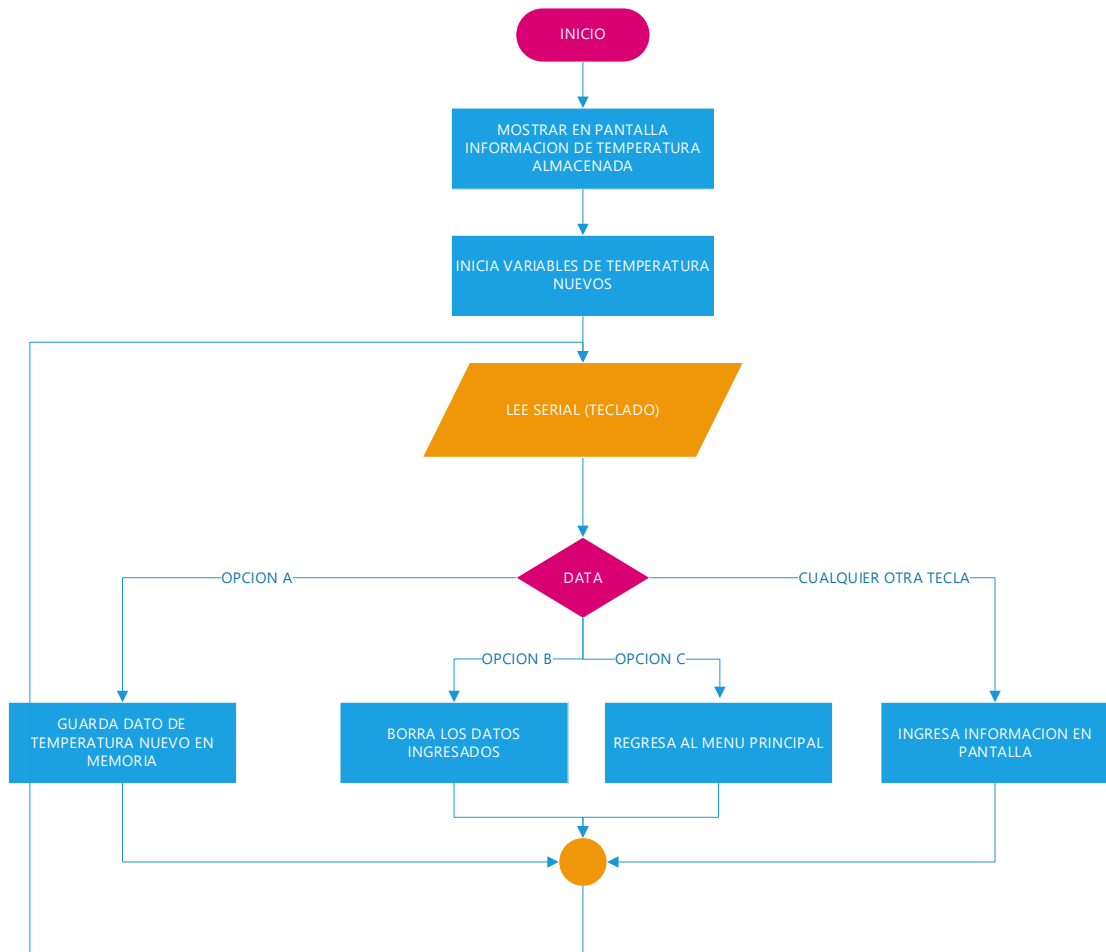
```

if(op=='A' || op=='B' || op=='C' || op=='D') //guardar
{
  if(op=='A') //guardar
  {
    float N= da.toFloat();
    Serial.println(N);
    preferences.begin("myfile", false);
    preferences.putUInt("boardId", boardId2);
    preferences.putFloat("param2", N);
    preferences.end();
    param2=N;
    mensaje();
    delay(1000);
    cambiarA_lcd();
  }
  if(op=='B') //Borrar
  {
    da="";
    lcd.setCursor (0, 2);//poner el cursor en las coordenadas (x,y)
    lcd.print("T act=      ");
  }
  if(op=='C') //Borrar
  {
    ac=false;
  }
}

```

Fuente: Autor.

Diagrama 3 Bucle de decisión de Temperatura

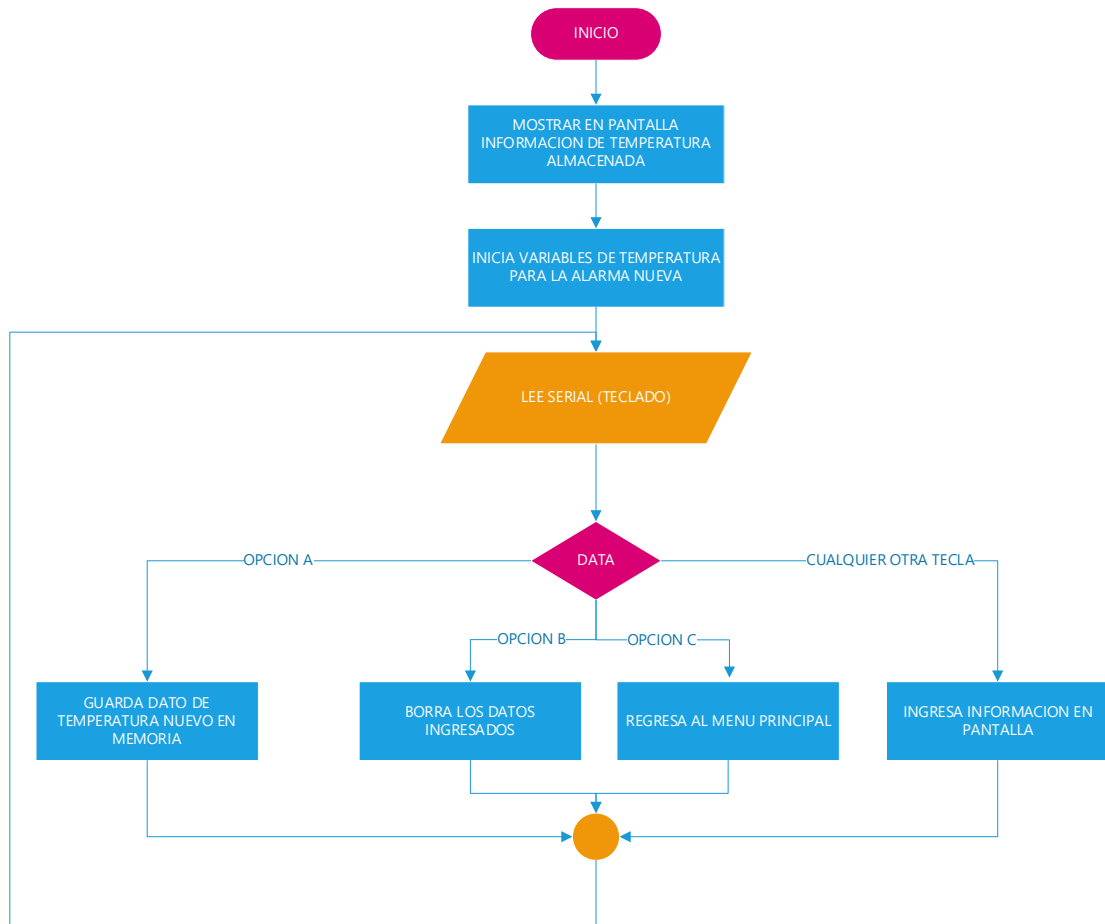


Fuente: El autor

– **ESP32 Función Configuración de Temperatura para la Alarma:**

Es exactamente lo mismo que el anterior la única diferencia radica en la inicialización de variables en este caso inicia la variable para la alarma.

*Diagrama 4 Bucle de decisión Alarma*



*Fuente: El autor*

▪ **Función Control Temperatura**

El sistema de control de temperatura contiene 3 partes principales:

- Control en sí de temperatura el cual es un tipo de control ON/OFF en cual activa la resistencia térmica mediante un relé de estado sólido cuando la temperatura de la cuna es menor a la configurada.
- Segunda parte consta del sistema de alarma la cual compara la temperatura interna y la temperatura de alarma configurada si la temperatura actual supera a la configurada la alarma se enciende.
- Tercera parte, se encarga del envía de los datos a la plataforma NODE-RED cada 5 segundos.

Ilustración 16 Envío de datos a Node RED .

```

if(actT)
{
  tempC();
  tempR();
  digitalWrite(act,HIGH);
  lcd.setCursor (0, 2);//poner el cursor en las coordenadas (x,y)
  lcd.print("TC=");lcd.print(t);lcd.print("C TI=");lcd.print(t1);lcd.print("C");
  lcd.setCursor (0, 3);//poner el cursor en las coordenadas (x,y)
  lcd.print("      H=");lcd.print(h);lcd.print("%");
  if(t<=param)
  {
    digitalWrite(rele, HIGH);
  }else
  {
    digitalWrite(rele, LOW);
  }
}

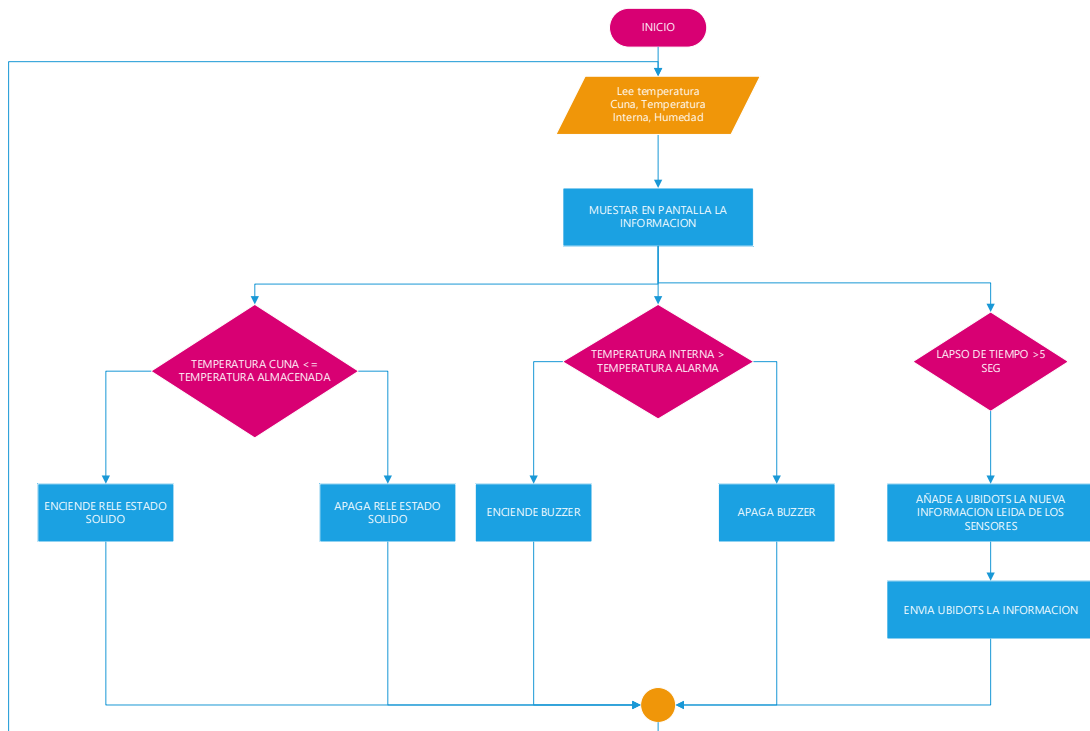
// guardar UBIDOTS

if((millis()-timer)>5000)
{
  if (!ubidots.connected())
  {
    ubidots.reconnect();
  }
  ubidots.add(VARIABLE_LABEL_1, t);
  ubidots.add(VARIABLE_LABEL_2, t1);
  ubidots.add(VARIABLE_LABEL_3, h);
  ubidots.publish(DEVICE_LABEL);
  Serial.println("Enviando los datos a Ubidots: ");
  Serial.println("-----");
  timer = millis();
  ubidots.loop();
}
}

```

Fuente: Autor.

Diagrama 5 Bucle de decisión IoT



Fuente: El autor

## ▪ Programación Arduino Nano

El Arduino Nano se encarga de dos procesos uno de ellos es la lectura del Keypad instalado en el sistema el Arduino mediante el uso de una librería es encargado de leer este periférico y enviarlo al sistema principal o a la ESP32 de manera serial.

*Ilustración 17 Lectura de teclas.*

```
// Verifica si alguna tecla fue presionada
char tecla_presionada = teclado1.getKey();

//Monitor Serial
if (tecla_presionada)
{
  Serial.print(tecla_presionada);
}
```

*Fuente: Autor.*

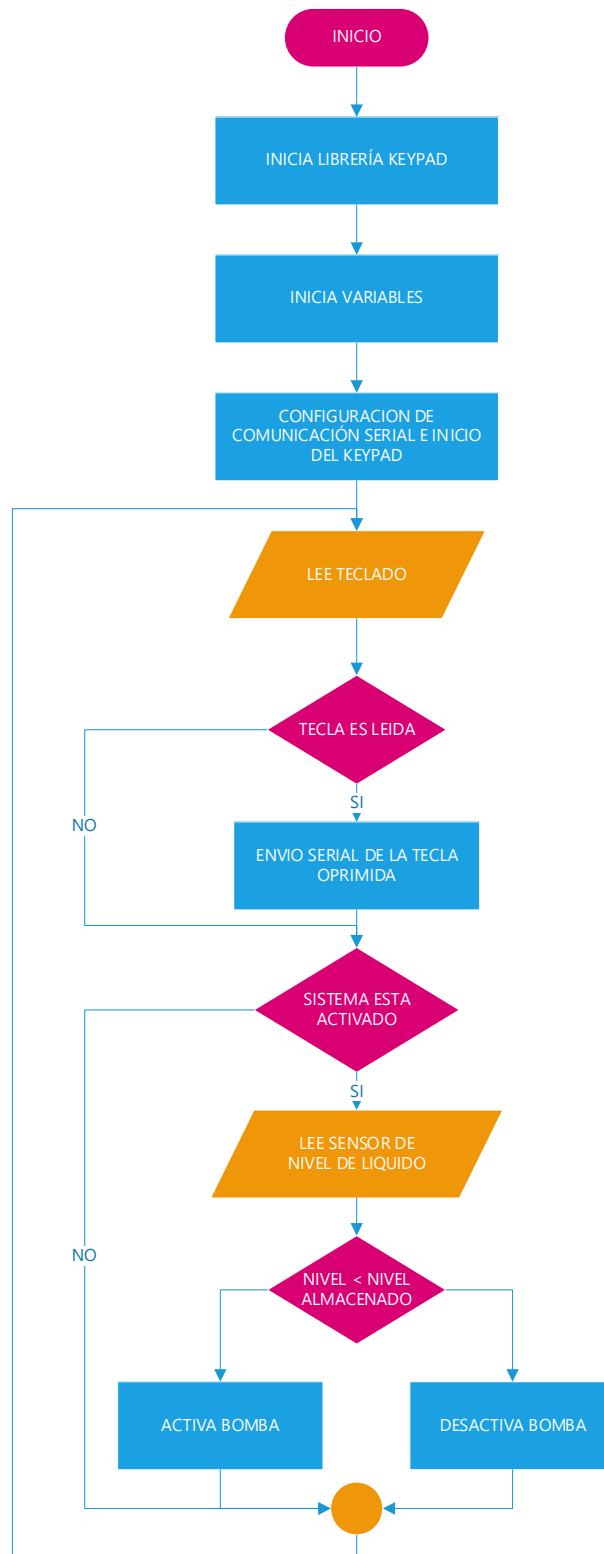
Y el segundo proceso es el llenado automático del recipiente o contenedor de agua instalado en la cuna mediante el cual se asegura de tener una humedad adecuada, este proceso de llenado se realiza mediante la lectura de un sensor de nivel el cual es leído por el Arduino si el nivel es inferior a la mitad la mini bomba se enciende hasta que el nivel sea el adecuado se puede decir que se realiza un control ON/OFF al sistema.

*Ilustración 18 Activación de bombas e indicadores.*

```
if(digitalRead(mcu)==HIGH)
{
  digitalWrite(led,HIGH);
  int nivel=analogRead(sensor);
  if(nivel<=500)
  {
    digitalWrite(bomba,LOW);
  }else
  {
    digitalWrite(bomba,HIGH);
  }
}else
{
  digitalWrite(bomba,HIGH);
  digitalWrite(led,LOW);
}
}
```

*Fuente: Autor*

Diagrama 6 Bucle de decisión Arduino Nano.



Fuente: El autor

### ▪ **Aplicación de IoT**

Se diseñó una aplicación IoT que permite el monitoreo y control remoto de la incubadora a través de una interfaz web o móvil. El transporte de telemetría de Message Queue Server (MQTT) es un protocolo de comunicación que se ejecuta sobre TCP/IP. Basado en el mecanismo de publicación/suscripción, MQTT es una solución ligera, abierta y fácil de implementar. El corredor MQTT separa al editor del suscriptor y enruta los mensajes por tema (Abdelatti, 2023). Esta arquitectura fomenta la integración de dispositivos de bajo ancho de banda en el contexto de IoT, donde pueden estar presentes numerosas RTU y MTU con potencia de procesamiento limitada (Flamini, y otros, 2023).

Con la interfaz basada en flujo, los desarrolladores pueden conectar rápidamente dispositivos y crear paneles interactivos para mostrar las variables monitoreadas. La complejidad reducida convierte a Node-RED en una opción práctica para manejar eficientemente la transmisión de datos a través de MQTT y la visualización en escenarios de la vida real. (He, 2024)

#### – **Node RED**

Node-RED (Versión 3.1.5) personifica un paradigma de programación basada en flujo, un concepto que enfatiza una metodología para delinear la funcionalidad de una aplicación a través de una red de unidades encapsuladas o "nodos". (Node-RED, 2024) Desarrollado para consumir pocos recursos de cómputo, nos permite crear un servidor de red para gestionar la conexión con dispositivos del IoT con arquitecturas ARM (Advanced RISC Machine) y plataformas RISC.

### **3.4 Implementación y Prueba**

#### ▪ **Instalación de Componentes:**

- **Montaje de la Nueva Tarjeta de Control:** Se instaló y conectó la nueva tarjeta de control a los sensores y actuadores de la incubadora.
- **Integración de IoT:** Se configuraron los módulos de comunicación para habilitar el monitoreo remoto de las condiciones dentro de la incubadora.

#### ▪ **Pruebas de Funcionamiento:**

- **Pruebas Iniciales:** Se realizaron pruebas iniciales para verificar que todos los componentes funcionen correctamente y que la tarjeta de control mantenga la temperatura y humedad adecuadas.
- **Ajustes y Correcciones:** Basado en las pruebas iniciales, se realizaron ajustes y

correcciones necesarias para optimizar el rendimiento del sistema.

### 3.5 Evaluación y Capacitación

- **Evaluación de desempeño.**
  - **Validación del Sistema:** Se llevó a cabo una evaluación exhaustiva para validar que la incubadora rehabilitada cumple con los requisitos técnicos y educativos establecidos.
  - **Pruebas con Estudiantes:** Se implementaron sesiones de simulación con estudiantes de enfermería para evaluar la funcionalidad del sistema en un entorno educativo.
- **Capacitación**
  - **Formación del Personal Docente:** Se desarrollaron y llevaron a cabo talleres de capacitación para el personal docente sobre el uso y mantenimiento del nuevo sistema de control.
  - **Guías de Usuario:** Se elaboraron manuales y guías de usuario para los estudiantes y el personal docente, detallando el funcionamiento y las mejores prácticas para el uso de la incubadora.

### 3.6 Solución Propuesta

La solución propuesta consiste en la rehabilitación de la incubadora mediante la instalación de una nueva tarjeta de control y la implementación de tecnologías IoT para el monitoreo y control remoto. Esta solución no solo restaura la funcionalidad de la incubadora, sino que también la moderniza, proporcionando una herramienta educativa avanzada para los estudiantes de enfermería. La solución incluye:

- Reemplazo y actualización de la tarjeta de control para garantizar un control preciso de la temperatura y humedad.
- Integración de IoT para permitir el monitoreo remoto y el control de la incubadora a través de una aplicación web o móvil.
- Capacitación y soporte para el personal docente y los estudiantes, asegurando un uso efectivo y un mantenimiento adecuado del nuevo sistema.

Esta metodología asegura una solución integral que mejora la infraestructura educativa y la formación práctica de los estudiantes de enfermería, preparándolos mejor para su futura práctica profesional.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS

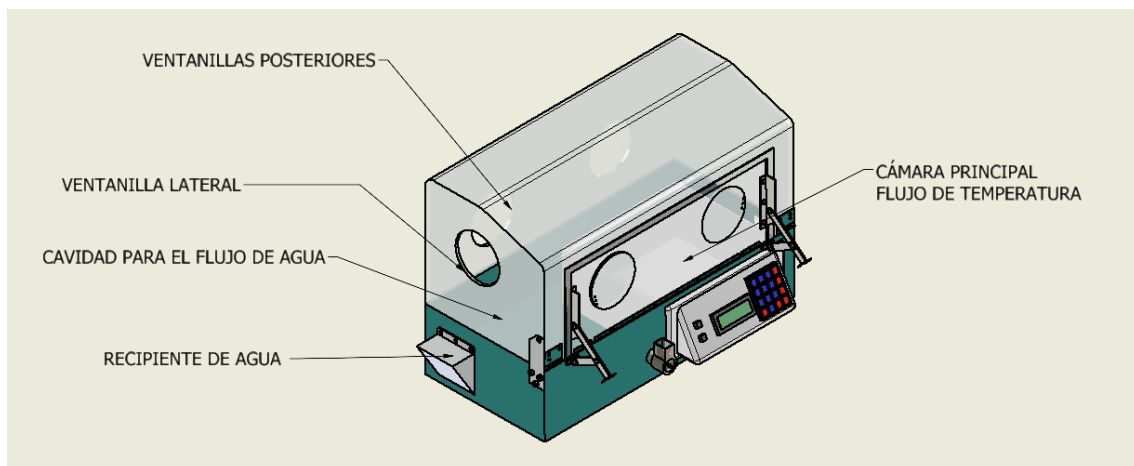
En esta sección se especifica los resultados alcanzados y se debe explicar cómo dichos resultados permitieron cumplir con cada uno de los objetivos planteados. Se representa los resultados alcanzados a través de la rehabilitación de la incubadora con control automático y monitoreo mediante IoT.

*Ilustración 19 Estado actual de la incubadora de la Facultad de Enfermería.*



*Fuente: Autor.*

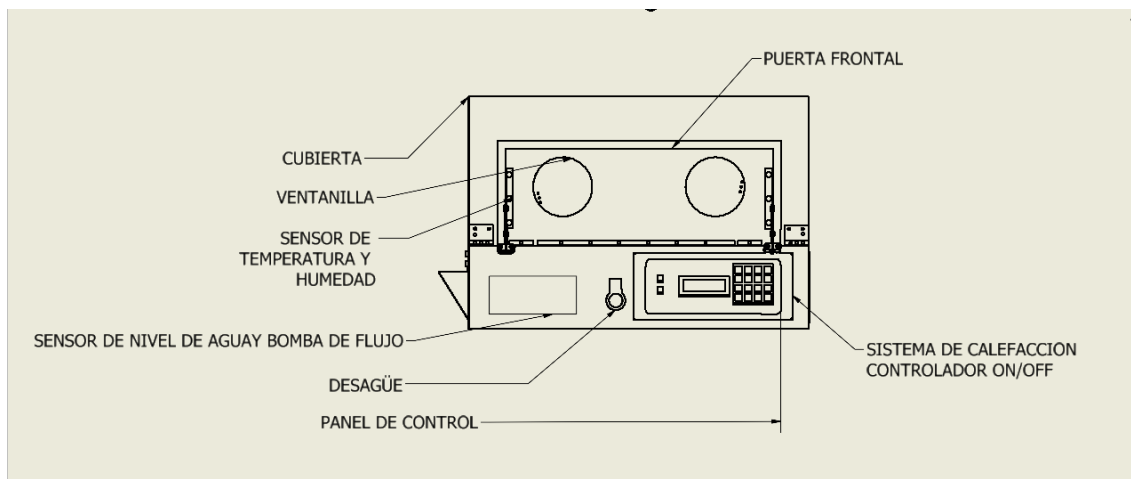
*Ilustración 20 Esquema de las partes del equipo.*



*Fuente: Autor.*



*Ilustración 21 Esquema de las implementaciones al equipo.*



*Fuente: Autor.*

#### **4.1. Resultado 1: Investigación de la base teórica y operativa.**

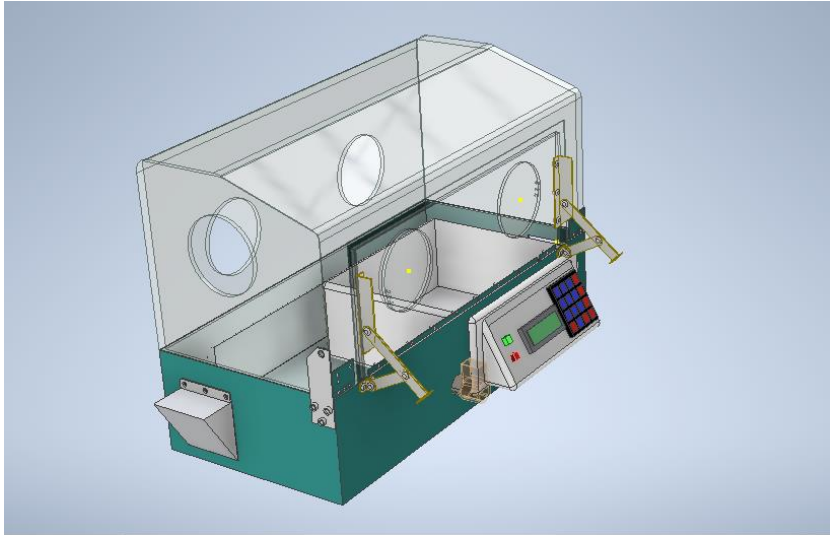
Se realizó una exhaustiva revisión de la literatura especializada y la documentación técnica relacionada con las incubadoras neonatales.

La investigación incluyó la consulta de libros, artículos académicos y manuales técnicos sobre el funcionamiento de las incubadoras, los componentes críticos como sensores y actuadores, y los sistemas de control utilizados en estos dispositivos. Esta revisión permitió entender a fondo cómo operan las incubadoras y qué se requiere para su rehabilitación y modernización.

#### **4.2. Resultado 2: Adaptación del equipo para la incorporación de un Hardware especializado.**

Se realizó el levantamiento 3D de la incubadora haciendo uso del software Autodesk Inventor. A través del software CAD, se modelaron las modificaciones necesarias para integrar nuevos sensores de temperatura y humedad, así como el hardware especializado. Esto incluyó la planificación detallada de la disposición de los componentes y su integración en el sistema existente de la incubadora.

*Ilustración 22 Levantamiento 3D de incubadora.*



*Fuente: Autor.*

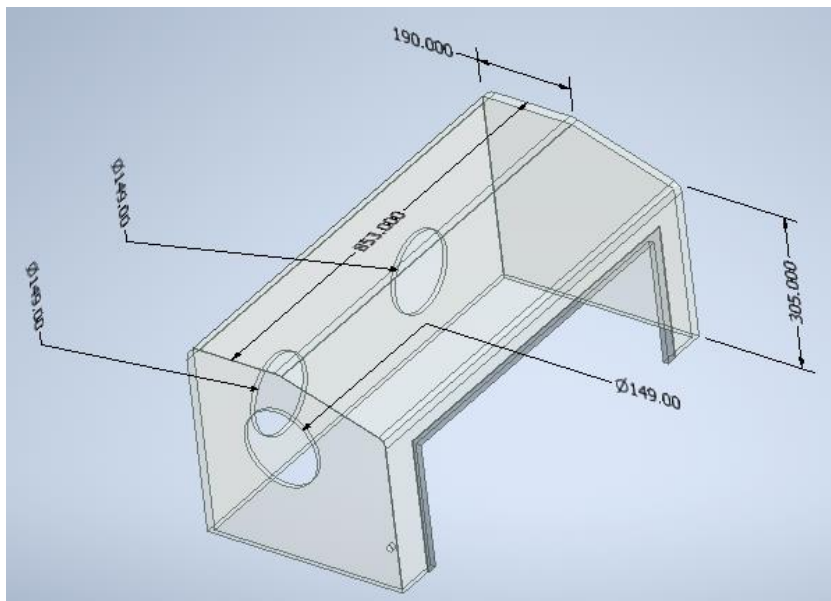
#### **4.2.1. Detalle de estructura**

Se detalla el despiece de la estructura y sus medidas.

- **Cubierta.**

Se describe la estructura y las medidas de la cubierta del equipo y sus medidas en milímetros.

*Ilustración 23 Levantamiento 3D de cubierta.*

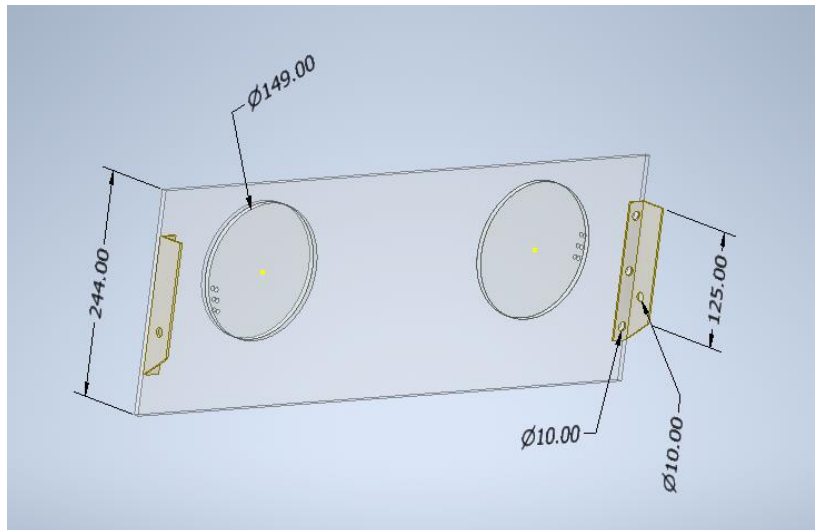


*Fuente: Autor.*

- **Tapa frontal.**

Se describe la estructura y las medidas de la tapa frontal del equipo y sus medidas en milímetros.

*Ilustración 24 Levantamiento 3D de cubierta.*

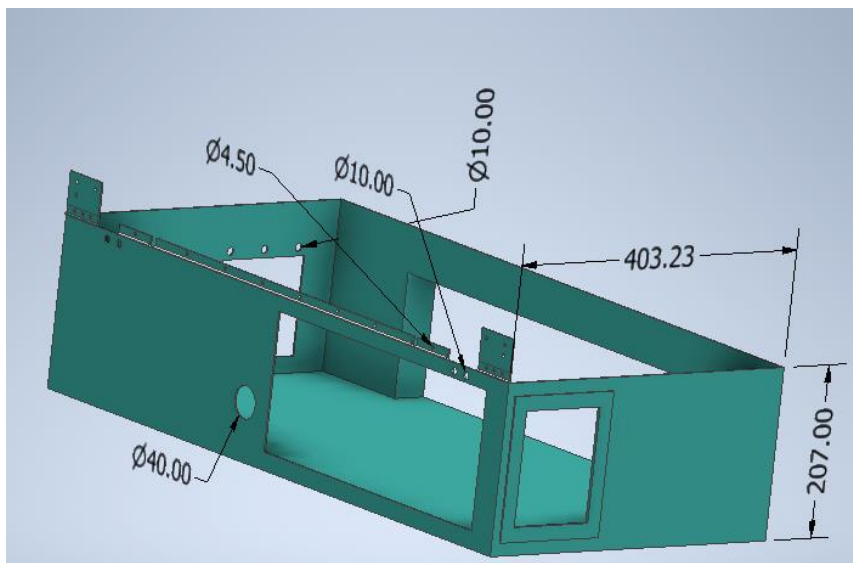


*Fuente: Autor.*

- **Base.**

Se describe la estructura y las medidas de la tapa frontal del equipo y sus medidas en milímetros.

*Ilustración 25 Levantamiento 3D de base.*

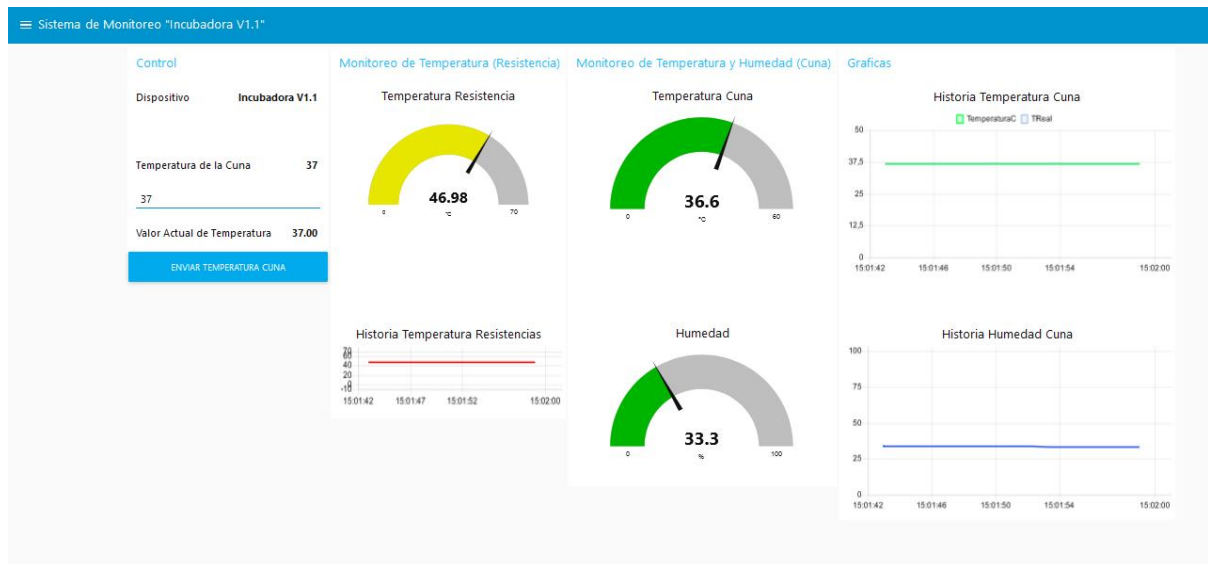


*Fuente: Autor.*

### 4.3. Resultado 3: Diseño de un sistema de monitoreo remoto.

El sistema permite la supervisión en tiempo real de las variables críticas como temperatura y humedad dentro de la incubadora. Utilizando tecnologías IoT, se creó una interfaz web que facilitan el monitoreo y control remoto de la incubadora, mejorando significativamente la capacidad de gestión y respuesta ante cualquier variación en las condiciones internas.

*Ilustración 26 Sistema de monitoreo.*

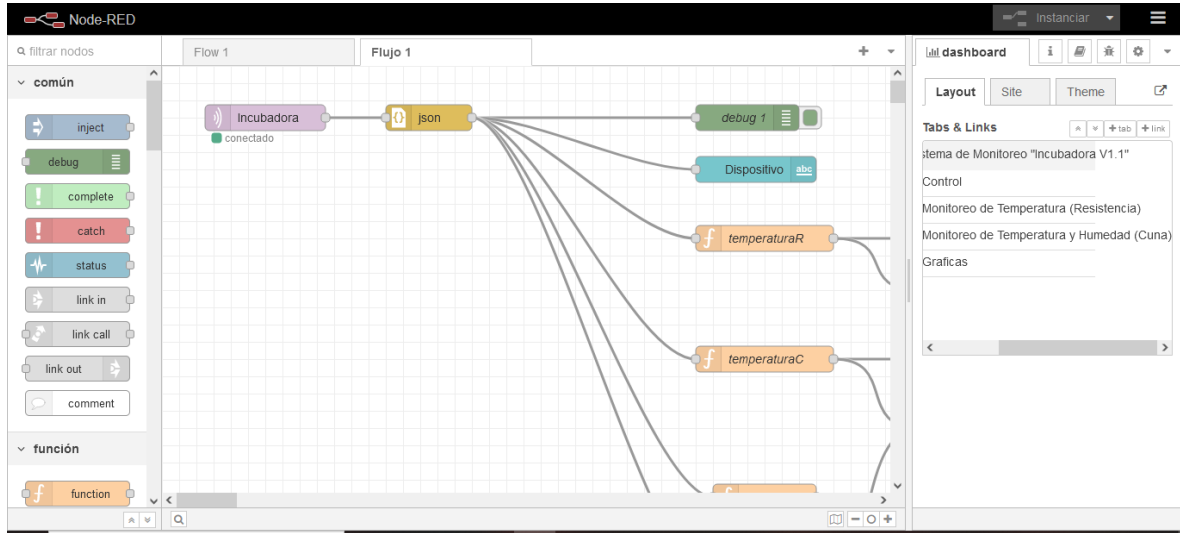


*Fuente: Autor.*

Algunas de las características clave del sistema propuesto para monitorear el equipo se describen a continuación en función de los resultados experimentales exitosos.

- i. *Arquitectura:* El sistema propuesto es basado en IoT. Incluye FID, una unidad terminal remota (RTU) basada en un ESP32, una unidad terminal maestra (MTU) configurada a través de un CPU, Node-RED y el protocolo MQTT a través de una red local.

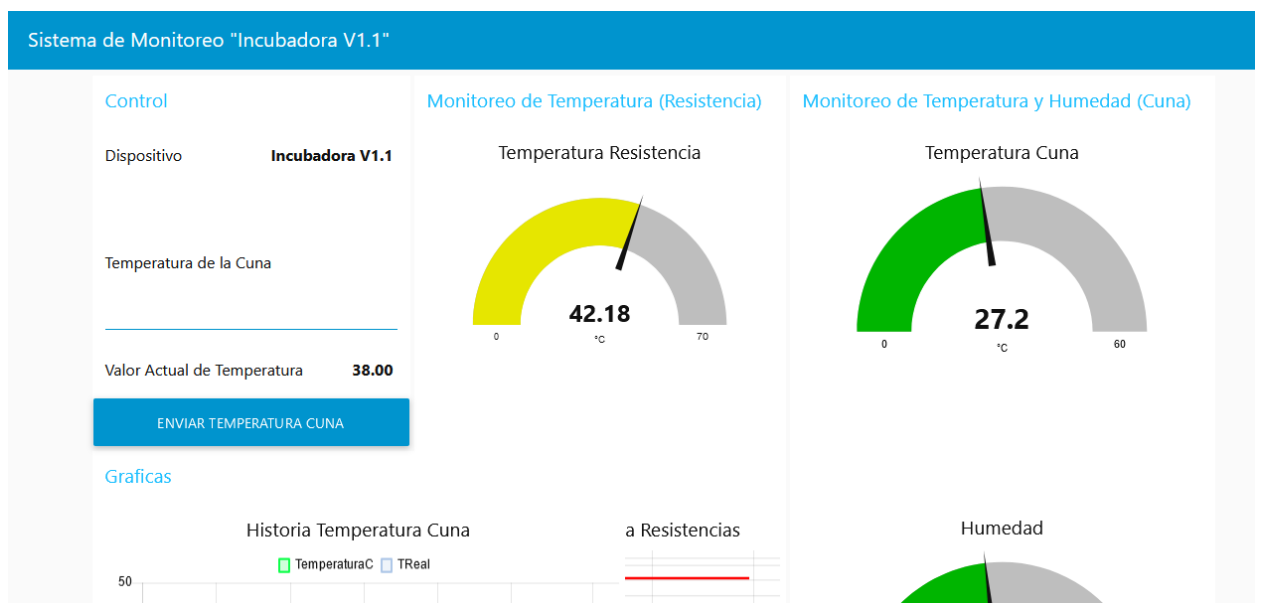
Ilustración 27 Arquitectura del sistema de monitoreo.



Fuente: Autor.

- ii. **Interfaz de Usuario (UI):** La plataforma Node-RED se utiliza en el desarrollo de la arquitectura, la cual simplifica el complejo proceso de comunicación de datos sobre MQTT y el diseño HMI facilitando la fácil implementación del sistema propuesto.

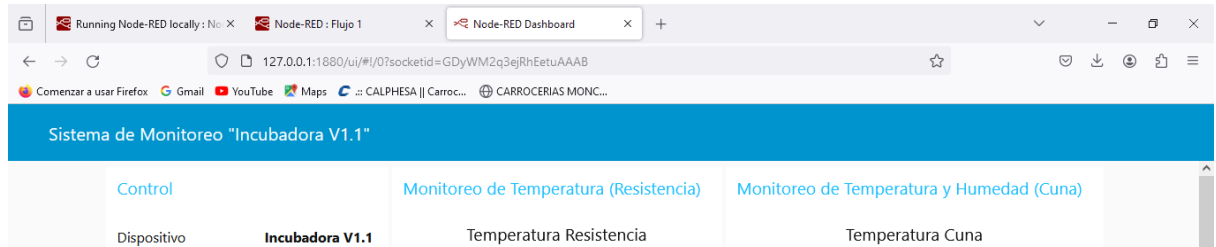
Ilustración 28 Interfaz de usuario del sistema de monitoreo.



Fuente: Autor.

- iii. *Monitoreo remoto:* El sistema propuesto basado en IoT presenta monitoreo y acceso remotos. El usuario puede acceder al sistema a través de la red local.

*Ilustración 29 Monitoreo remoto.*



*Fuente: Autor.*

#### **4.4. Resultado 4: Desarrollo de un sistema de control automático.**

El sistema de control automático utiliza algoritmos de control On/Off para mantener las condiciones óptimas dentro de la incubadora. Este desarrollo garantiza que las variables de temperatura y humedad se mantengan dentro de los rangos preestablecidos, proporcionando un ambiente seguro y estable para las prácticas educativas.

El sensor de humedad y temperatura DHT11 lee la humedad y la temperatura en los alrededores del ambiente del equipo. El valor óptimo de temperatura debe oscilar entre 36.5 °C y 37.2 °C. Con respecto a la técnica de control ON/OFF se prefirió mantener el error por un tiempo más prolongado a cambio de menos oscilaciones del actuador, pues el control se adapta mejor a los sistemas lentos, tales como el control de temperatura de esta incubadora. El proceso controlado con la técnica ON/OFF permite oscilaciones constantes en la variable controlada debido a la naturaleza propia de la técnica de control ya que se tiene oscilaciones de amplitud grande.

TS (Temperature Set point)

H (Humedad)

TC (Temperatura Camara)

TA (Temperatura de Alarma)

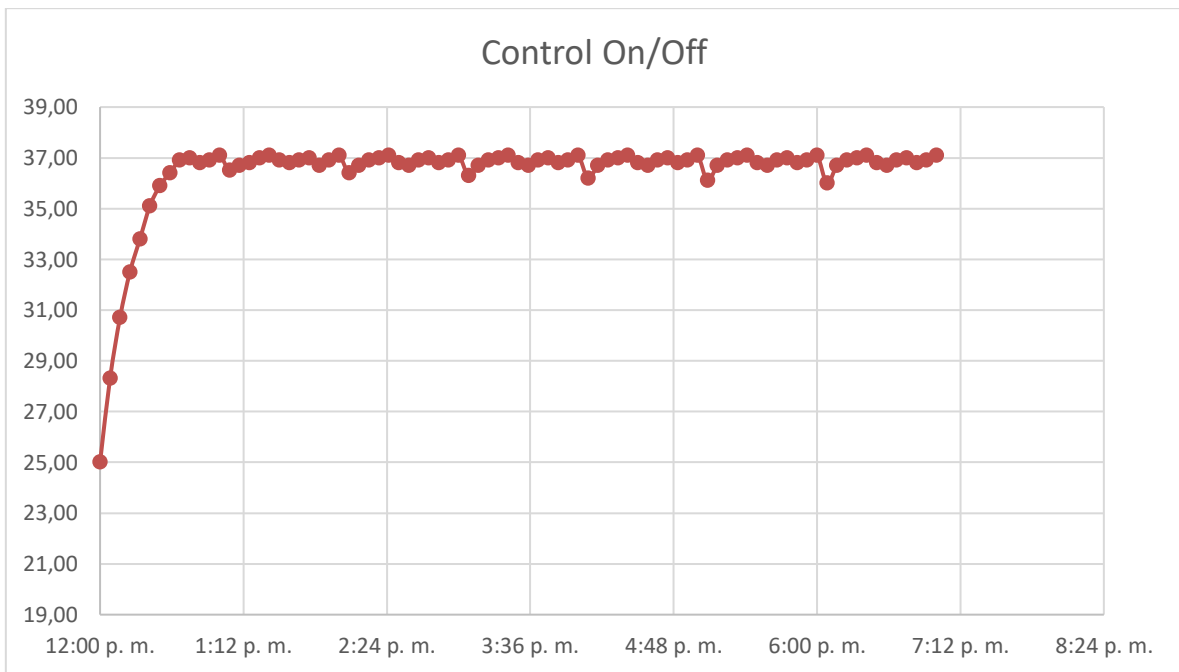
TI (Temperatura Interna Actuador)

Tabla 4 Pruebas de control automático

13:20	TC = 20.9 °C	14:25	TC= 37.9 °C
	TI = 43.31 °C		TI = 49.23 °C
	H = 53 %		H = 30.5 %
13:57	TC = 33.7 °C	14:42	MODO AUTOMATICO TS=38.00C TA=39.00C TC=38.10C TI=48.55C H=29.90%
	TI = 46.44 °C		
	H = 35.5 %		

Fuente: El autor

Ilustración 30 Gráfico de dispersión.



Fuente: El auto

Tabla 5 Pruebas parte 2, de control automático

<b>Tiempo (hh)</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Estado del Control (ON/OFF)</b>	<b>Perturbaciones</b>
12:00 p. m.	25,00	ON	Inicio de monitoreo
12:05 p. m.	28,30	ON	
12:10 p. m.	30,70	ON	
12:15 p. m.	32,50	ON	
12:30 p. m.	35,90	ON	
12:35 p. m.	36,40	ON	
12:40 p. m.	36,90	ON	Llegada al set point
12:45 p. m.	37,00	OFF	
12:50 p. m.	36,80	ON	
12:55 p. m.	36,90	ON	
1:00 p. m.	37,10	OFF	Cambio de pañal
1:05 p. m.	36,50	ON	Apertura de compuertas
1:10 p. m.	36,70	ON	
1:15 p. m.	36,80	ON	
1:20 p. m.	37,00	OFF	
1:25 p. m.	37,10	OFF	
1:30 p. m.	36,90	ON	
1:35 p. m.	36,80	ON	
1:40 p. m.	36,90	ON	
1:45 p. m.	37,00	OFF	
1:50 p. m.	36,70	ON	
1:55 p. m.	36,90	ON	
2:00 p. m.	37,10	OFF	Cambio de pañal
2:05 p. m.	36,40	ON	Apertura de compuertas
2:10 p. m.	36,70	ON	
2:15 p. m.	36,90	ON	
6:10 p. m.	36,70	ON	
6:15 p. m.	36,90	ON	
6:20 p. m.	37,00	OFF	
6:25 p. m.	37,10	OFF	
6:30 p. m.	36,80	ON	
6:40 p. m.	36,90	ON	
6:45 p. m.	37,00	OFF	
6:50 p. m.	36,80	ON	
6:55 p. m.	36,90	ON	
7:00 p. m.	37,10	OFF	Finalización de monitoreo

Fuente: El auto



#### **4.5. Resultado 5: Verificación y validación del desempeño del sistema.**

La validación incluyó la realización de sesiones de simulación donde los estudiantes pudieron interactuar con la incubadora rehabilitada, monitorear las condiciones internas y realizar ajustes a través del sistema IoT. Las pruebas confirmaron que el sistema funciona correctamente y cumple con los requisitos educativos y técnicos establecidos.

*Ilustración 31 Verificación y validación del desempeño del sistema.*



*Fuente: Autor.*

## CAPÍTULO VI

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 7.1. Conclusiones

- La revisión exhaustiva de la literatura y documentación técnica proporcionó una comprensión sólida de los principios y componentes necesarios para la rehabilitación de la incubadora. Siendo lo más importante la relación entre temperatura y humedad con la salud de los pacientes neonatales y la posterior aplicabilidad de los diferentes sistemas de monitoreo y control para garantizar el ambiente necesario para la termorregulación. Esta investigación puede ser base de conocimiento para futuros proyectos con este mismo equipo u otros similares.
- El uso del software CAD permitió mediante levantamiento 3D planificar y visualizar las modificaciones necesarias para el desarrollo y diseño del Hardware del equipo, asegurando una integración exitosa de los nuevos componentes. Gráficos que posteriormente facilitarían las intervenciones de mantenimiento del equipo.
- Un sistema de monitorización es fundamental y más conveniente, esto ayuda a los cuidadores a controlar a los pacientes en tiempo real. En la incubadora neonatal se implementó IoT, que monitorea y detecta cualquier cambio en el entorno, como la temperatura y la humedad, con la ayuda del sensor de temperatura MAX31865 PT100, el sensor de humedad DHT22, el sensor de nivel de líquido N78, y envía esas señales al microcontrolador para mostrarlas en tiempo real.
- La técnica de control ON/OFF depende de la temperatura real de la cámara de la incubadora, detectada en todo momento por el sensor (que realiza dos funciones: la de comparador y la de sensor), de tal manera que, si el sistema lo requiere, la acción de control se ejecutará sobre el proceso. El sistema no llega a ser sensible pues no tienen frecuentes ciclos de conexión y desconexión, por lo que el control ON/OFF se adaptó de mejor manera a este sistema de transición lenta.

- Las sesiones de formación práctica, en opinión de los participantes confirmaron la efectividad del sistema implementando, demostrando su adecuación para la educación en enfermería, pues que los estudiantes simulen experiencias reales en un ambiente de aprendizaje controlado, donde pueden fallar y repetir indefinidamente los procesos sin poner en riesgo la seguridad de los pacientes, ganando confianza y seguridad en los procedimientos.

## **7.2. Recomendaciones**

- El enfoque detallado en este proyecto y la información que se ha recopilado, pueden representar una guía prometedora para mejorar el entorno educativo y en consecuencia los resultados de los pacientes, a través de tecnologías mejoradas de incubadoras. Es necesario no solo entender los mecanismos tecnológicos, sino también las necesidades de preparación profesional y las necesidades de salud de los pacientes, para en conjunto determinar estrategias acordes a dichos requerimientos.
- La medicina avanza día con día, respondiendo a las necesidades de los profesionales de la salud y los pacientes, en el caso del área de enfermería neonatal, estos avances afectan la vida de pacientes altamente vulnerables, por lo tanto, hay que considerar que los equipos y los profesionales deben estar a la altura de dichas exigencias. Es así como, esta rehabilitación y modernización de la incubadora no es permanente, se sugiere que los sistemas propuestos en este proyecto se vayan ajustando a los avances mismos de la tecnología y la salud, de forma que los estudiantes tengan mayores oportunidades de educación y práctica.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- 2024, ©. S. (s.f.). *siemens.com*. Obtenido de siemens.com: <https://sw.siemens.com/es-ES/technology/computer-aided-design-cad/>
- Abdelatti, M. &. (2023). Lab-Scale Smart Factory Implementation Using ROS. *Springer International Publishing: Cham*, 7, 119-143.
- Albadrani, K. N. (2019). Applying IoT, Web Real-Time Communication and Cloud Computing to Maximize Emergency Medical Service (EMS) Efficiency. *Association for Computing Machinery* (págs. 115–119). New York, NY, USA: Proceedings of the 3rd International Conference on Big Data and Internet of Things.
- Alshehri, M. A. (2019). A Novel Secure Wireless Healthcare Applications for Medical Community. *International Transaction Journal of Engineering*, 383-395.
- Amadi, H. O. (2007). Digitally recycled incubators: better economic alternatives to modern systems in low-income countries. *Annals of Tropical Paediatrics*, 27(3), 207–214. Obtenido de <https://bibliotecas.ups.edu.ec:2582/10.1179/146532807X220325>
- Archana S. Nadhan, I. J. (2024). Enhancing healthcare security in the digital era: Safeguarding medical images with lightweight cryptographic techniques in IoT healthcare applications. *Volume 88, Part B*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.bspc.2023.104697>.
- Aryanto, I., Maneetham, D., & Crisnapati, P. (2023). Enhancing Neonatal Incubator Energy Management and Monitoring through IoT-Enabled CNN-LSTM Combination Predictive Model. *Appl.Sci*, 13. doi:<https://doi.org/10.3390/app132312953>

AV Electronics. (20 de Abril de 2024). Obtenido de Módulo WiFi ESP8266. (s/f):  
<https://avelectronics.cc/producto/modulo-wifi-esp8266ex/>

Carlos Bordóns Alba, M. R. (2001). *Teoría de Sistemas*. Sevilla: Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática. Universidad de Sevilla.

Díaz-Cordoves, J. J. (2009). *Fundamentos de Control Automático de Sistemas Continuos y Muestreados*. San Sebastián: Universidad de Navarra.

Eduardo\_D, I. (25 de Abril de 2024). *Huawei.com*. Obtenido de ¿Qué es el Internet de las cosas médicas (IoMT)?:  
<https://forum.huawei.com/enterprise/es/%C2%BFqu%C3%A9-es-el-internet-de-las-cosas-rob%C3%B3ticas/thread/687151002937081856-667212896255488000>

Ferris TK, S. M. (2013). The design of neonatal incubators: A systems-oriented, human-centered approach. *Journal of Perinatology, suppl.1. 2013;33:S24-S31*. doi:<https://doi.org/10.1038/jp.2013.11>.

Flamini, A., Ciurluini, L., Loggia, R., Massaccesi, A., Moscatiello, C., & Martirano, L. (2023). A Prototype of Low-Cost Home Automation System for Energy Savings and Living Comfort. (59), 4931-4941. doi:<https://bibliotecas.ups.edu.ec:2582/10.1109/TIA.2023.3271618>.

Fortino, G., Savaglio, C., Spezzano, G., & Zhou, M. (2021). Internet of Things as System of Systems: A review of Methodologies, Frameworks, Platforms, and Tools. *IEEE Trans. Syst. Man Cybern. Syst.*, 51, 223-236.

Gómez, E. R. (2023). *Fundamentos de enfermería. Ciencia, metodología y tecnología*. Ciudad de México, México. : El Manual Moderno S.A. de C.V.

He, W. B. (2024). An Open-Source Supervisory Control and Data Acquisition Architecture for Photovoltaic System Monitoring Using ESP32, Banana Pi M4,

and Node-RED. *Energies*, 17(10). Obtenido de <http://bibliotecas.ups.edu.ec:2099/10.3390/en17102295>

J Bhatia Jatinder, a. M. (2011). *Innovations In Neonatal-perinatal Medicine: Innovative Technologies And Therapies That Have Fundamentally Changed The Way We Deliver Care For The Fetus And The Neonate*. Georgia: World Scientific Publishing Company. Recuperado el 28 de 10 de 2023, de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/upsal/detail.action?docID=731161>.

Levine, W. S. (2011). *Control System Applications*. College Park, MD,USA: CRC Press.

M. Zhao, H. D. (2020). "Sistema central de monitoreo en tiempo real para incubadoras de bebés prematuros". *IEEE Tercera Conferencia Internacional sobre Producción Segura e Informatización (IICSPI)* , (págs. págs.385-390). Chongqing, China. doi:10.1109/IICSPI51290.2020.9332206.

McDonald , M., & Seshia, M. (2016). *Avery Neonatología: Diagnóstico y tratamiento del recién nacido*. Barcelona: Wolters Kluwer Health.

Mohanan, V. (29 de 3 de 2024). *CIRCUITSTATE Electronics LLP*. Obtenido de <https://www.circuitstate.com/pinouts/doit-esp32-devkit-v1-wifi-development-board-pinout-diagram-and-reference/>

Node-RED. (12 de Abril de 2024). Obtenido de Guía del usuario de Node-RED: conceptos: <https://nodered.org/docs/user-guide/concepts>

Ogata, K. (2010). *INGENIERÍA DE CONTROL MODERNA*. Madrid: PEARSON EDUCACIÓN, S.A.

Philip, A. G. (2016). *Neonatal-Perinatal Medicine. Pioneers in Neonatal/Perinatal Medicine: Perinatal Profiles from NeoReviews*. Stanford, Estados Unidos: American Academy of Pediatrics. Obtenido de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/upsal/detail.action?docID=4385963>.

- Pires DE, B. J. (2012). Technological innovation and healthcare professionals' workloads: an ambiguous relationship. *Rev Gaúcha Enferm.*, 55(1):157-68.
- Qurat-ul-ain Mastoi, A. S. (2023). A fully automatic model for premature ventricular heartbeat arrhythmia classification using the Internet of Medical Things. *Biomedical Signal Processing and Control. Volume 83*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.bspc.2023.104697>.
- Revista Interesante. (3 de Noviembre de 2023). Martín Couney: Cómo un médico falso salvó a más de 6.500 bebés prematuros. *Medium*. Obtenido de <https://medium.com/@revistainteresante1/martin-couney-c%C3%B3mo-un-m%C3%A9dico-falso-salv%C3%B3-a-m%C3%A1s-de-6-500-beb%C3%A9s-prematuros-bcc020037e59>
- Roberto Antonucci, A. P. (2019). The infant incubator in the neonatal intensive care unit: unresolved issues and future developments. *Walter de Gruyter, J. Perinat. Med.* 37 (2009) 587–598. doi:10.1515/JPM.2009.109
- Sánchez Pérez , M. D., Arévalo Mendoza, M. M., Figueroa Olea, M., & Nájera Nájera, R. M. (2014). *Atención del neonato prematuro en la UCI. Centrada n la prevención de factores de riesgo de daño neurológico y promoción del neurodesarrollo*. Unidad Xochimilco, México D.F.: El Manual Moderno.
- Tricia Lacy Gomella, M. M. (2004). *"Neonatology: Management, Procedures, On-Call Problems, Diseases, and Drugs"*. Baltimore: Maryland Associate Editors M. Douglas Cunningham.
- Vijayasaro, V. a. (2019). A Concern Review on Potency of IoT Applications with Example Case Study. *International Transaction Journal of Engineering.*, 233-243.

## ANEXOS

### Anexo 1. CRONOGRAMA

Cronograma, aquí se detallan las actividades del trabajo de titulación con el tiempo planificado para cada actividad.

*Tabla 6 Cronograma.*

ACTIVIDADES	MES 1				MES 2				MES 3				MES 4			
	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4
Determinar el estado del equipo, donde se dio a conocer la diferencia entre incubadora y termocuna.																
Indicación de requisitos y especificaciones. Revisión de literatura e investigación sobre tecnologías IoT aplicables.																



Diseño preliminar del sistema y selección de componentes. Inicio del desarrollo de software básico para control y monitoreo.																			
Desarrollo continuo de software y hardware. Diseño y creación de la interfaz de usuario.																			
Desarrollo y prueba de la conectividad IoT. Preparación de la documentación inicial.																			
Finalización del desarrollo de hardware																			





## Anexo 2. PRESUPUESTO

Los costos de diseño, desarrollo, implementación y mano de obra no se incluyen en este presupuesto por que se considera el aporte de la autora a este proyecto.

*Tabla 7 Presupuesto*

Tipo	Descripción	Valor Estimado
<b>Equipos</b>	▪ MCU ESP32 DEV KIT 1	14.00
	▪ Arduino Nano	13.5
	▪ MAX31865 PT100	6.00
	▪ DHT22	15.00
	▪ Sensor de nivel de líquido N78	15.00
	▪ Sensor PT100	9.00
	▪ Relé estado sólido de 25 <sup>a</sup> - Input DC.	3.00
	▪ Modulo relé de un canal	9.00
	▪ Mini bomba	40.00
	▪ LCD 20x4 i2c	3.00
	▪ teclado matricial de membrana	13.00
	▪ modulo buzzer	3.00
	▪ step down lm2596	1.00
▪ fuente de 12v 10 <sup>a</sup>	3.00	
▪ botones		
<b>Materiales</b>	Cable de poder, resistencia, tornillería y otros	20.00
	Vinil (Decorar Panel)	10.00
	Impresiones 3D	5
<b>Varios</b>	Transporte	50
	Arreglo Acrílico	30
	Pintura	10
	Mano de obra pintura	50
Total, Estimado		322.5

*Fuente: El autor*

## Anexo 3. MANUAL DE USUARIO

### Índice

1. Análisis Teórico
2. Identificación de la unidad
3. Especificaciones Técnicas
  - 3.1. Definiciones
  - 3.2. Especificaciones Eléctricas
  - 3.3. Características de control
4. Partes, Piezas y Accesorios
  - 4.1. Cúpula
  - 4.2. Base
5. Instalación de la unidad
6. Operación de la unidad
  - 6.1. Encendido y Configuración Inicial
  - 6.2. Monitoreo de Variables
  - 6.3. Control de Variables
  - 6.4. Alarmas y Notificaciones
  - 6.5. Operaciones Comunes
7. Mantenimiento Preventiva, Correctiva y Conservación
  - 7.1. Limpieza y conservación
  - 7.2. Mantenimiento
  - 7.3. Inspección Regular
  - 7.4. Actualización de Software
8. Solución de Problemas
  - 8.1. Problemas Comunes y Soluciones
9. Apéndices
  - 9.1. Comandos del Teclado Matricial
  - 9.2. Contacto para Soporte Técnico

## 1. Análisis Teórico

Las posibilidades de supervivencia de los recién nacidos aumentan notablemente si se previene con éxito la pérdida excesiva de calor. Para ello, el recién nacido debe mantenerse en un ambiente térmico neutro. Esto se define como el rango de temperatura externa dentro del cual la tasa metabólica y, por tanto, el consumo de oxígeno son mínimos mientras el bebé mantiene una temperatura corporal normal. Hipotermia y pérdida excesiva de calor. Los bebés prematuros están predispuestos a la pérdida de calor porque tienen poca grasa subcutánea, una alta relación entre superficie y peso corporal y reservas reducidas de glucógeno y grasa parda. Además, su postura hipotónica ("rana") limita su capacidad de acurrucarse para reducir el área de la piel expuesta al ambiente más frío.

A. Los mecanismos de pérdida de calor en el recién nacido incluyen los siguientes:

- Radiación. La radiación es la pérdida de calor del bebé (objeto caliente) a un objeto cercano más frío.
- Conducción. La conducción es la pérdida directa de calor desde el bebé hacia la superficie con la que está en contacto directo.
- Convección. La convección es la pérdida de calor del bebé al aire circundante.

B. Consecuencias de la pérdida excesiva de calor. Los relacionados con el aumento compensatorio en la producción de calor a través del aumento de la tasa metabólica incluyen los siguientes:

- Suministro insuficiente de oxígeno e hipoxia por mayor consumo de oxígeno.
- Hipoglucemia secundaria al agotamiento de las reservas de glucógeno.
- Acidosis metabólica causada por hipoxia y vasoconstricción periférica.
- Disminución del crecimiento.
- Apnea.
- Hipertensión pulmonar como consecuencia de acidosis e hipoxia.

C. Consecuencias de la hipotermia. A medida que la capacidad de compensar la pérdida excesiva de calor se ve desbordada, se producirá hipotermia.

- Hemorragia intraventricular.
- Bradicardia sinusal grave.
- Aumento de la mortalidad neonatal.

D. Tratamiento de la hipotermia.

El recalentamiento puede inducir apnea e hipotensión; por lo tanto, el lactante hipotérmico debe ser monitoreado de manera continua y estrecha independientemente del método de recalentamiento. Una recomendación es recalentar a una velocidad de 1 °C/h a menos que el bebé pese <1200 g, la edad gestacional sea <28 semanas o la temperatura sea <32,0 °C (89,6 °F) y el bebé pueda recalentarse más lentamente (a una velocidad que no exceda los 0,6 °C/h).

- a. Incubadora cerrada. Los cambios de temperatura corporal asociados con la sepsis pueden quedar enmascarados por el sistema automático de control de temperatura de las incubadoras cerradas. Por tanto, tales cambios se expresarán en las variaciones de la temperatura ambiental de la incubadora.

Las incubadoras cerradas mantienen un ambiente térmico neutro mediante el uso de los siguientes dispositivos.

- Sonda cutánea servo controlada unida al abdomen del lactante.
- Dispositivo de control de temperatura del aire.
- Sonda de temperatura del aire.

## 2. Identificación de la unidad

La unidad provee medios para controlar la temperatura del aire, humedad relativa y mantener un aislamiento del ambiente externo.

La cúpula de pared doble ofrece total visibilidad del paciente y provee un efectivo aislamiento térmico para el mantenimiento de la temperatura.

Este manual de usuario proporciona instrucciones detalladas sobre el uso y mantenimiento del sistema de control automático e IoT implementado en la incubadora de la Carrera de Enfermería. El sistema incluye varios componentes electrónicos y sensores integrados para asegurar un ambiente controlado y monitoreado en tiempo real. A continuación, se describen los componentes principales y el software utilizado, así como las instrucciones de uso y mantenimiento.

## 3. Especificaciones Técnicas

### 3.1. Definiciones

- **MCU ESP32 DEV KIT 1:** Microcontrolador principal que gestiona la comunicación y el control de los sensores y actuadores.
- **Arduino Nano:** Microcontrolador auxiliar utilizado para tareas específicas de control.
- **MAX31865 PT100:** Amplificador de termopar para medir temperaturas precisas con el sensor PT100.
- **DHT22:** Sensor de temperatura y humedad.
- **Sensor de nivel de líquido N78:** Sensor utilizado para medir el nivel de líquidos.

- **Sensor PT100:** Sensor de temperatura de alta precisión.
- **Relé estado sólido de 25A - Input DC:** Relé utilizado para el control de dispositivos de alta potencia.
- **Módulo relé de un canal:** Relé utilizado para el control de dispositivos de baja potencia.
- **Mini bomba:** Bomba utilizada para la circulación de líquidos.
- **LCD 20x4 I2C:** Pantalla LCD para mostrar información en tiempo real.
- **Teclado matricial de membrana:** Dispositivo de entrada para la interacción del usuario.
- **Módulo Buzzer:** Dispositivo de alarma sonora.
- **Step down LM2596:** Convertidor de voltaje.
- **Fuente de 12V – 10A:** Fuente de alimentación para todos los componentes.
- **Botones:** Botones físicos para la interacción manual.
- **Programa Node-RED:** Software utilizado para la interfaz de monitoreo y control remoto.

### 3.2. Especificaciones Eléctricas

Tensión de alimentación externa	220V
Tensión de alimentación interna	5V
Frecuencia	50 Hz
Corriente de fuga	1.6A
Potencia (alimentación externa)	250W
Potencia (alimentación interna)	

#### Fusibles

Tensión de alimentación	Fusible
Tensión de alimentación externa 110V	3A – Tipo F
Tensión de alimentación interna 12VDC	10A – Tipo F

### 3.3. Características de Control

Resolución Display de Temperatura	0.1 C
Tiempo de elevación de la Temperatura (temp. ambiente =25 C)	45min
Variación de la Temperatura del Aire	+/- 0.2 C

#### 3.3.1. Controlador Micro procesado

- Alarmas.



- Banda de Ajuste de Temperatura:
  - Modo Aire 30.0 C a 39.0 C

## **4. Partes, Piezas y Accesorios**

### **4.1. Cúpula**

Cúpula de acrílico con pared doble y puertas de acceso frontal y lateral.

### **4.2. Base**

La base está constituida por dos partes, siendo: Base Superior y Base Inferior. La base superior puede ser retirada. En la base inferior se encuentran la resistencia de calentamiento aletada, el ventilador de circulación de aire, el sensor de temperatura.

## **5. Instalación de la unidad**

Colocar la unidad en una superficie plana. Trabar las cuatro ruedas del carro de transporte. A una distancia prudente de la toma a corriente, colocar el transformador de manera adecuada.

## **6. Operación de la unidad**

### **6.1. Encendido y Configuración Inicial**

#### **6.1.1. Conectar la Fuente de Alimentación:**

Conecte la fuente de 12V a la toma de corriente y asegúrese de que todos los componentes están conectados adecuadamente a la fuente de alimentación.

#### **6.1.2. Encendido del Sistema:**

Presione el botón de encendido para activar el sistema. La pantalla LCD mostrará un mensaje de inicio y el sistema comenzará a leer los valores de los sensores.

### **6.2. Monitoreo de Variables**

#### **6.2.1. Pantalla LCD:**

La pantalla LCD 20x4 mostrará los valores actuales de temperatura, humedad y nivel de líquido. Asegúrese de que los valores están dentro de los rangos esperados para un ambiente controlado.

#### **6.2.2. Node-RED Dashboard:**

Acceda al dashboard de Node-RED a través de la dirección IP configurada en el ESP32. Utilice cualquier navegador web para visualizar los datos en tiempo real y acceder a controles adicionales. URL de acceso: <http://127.0.0.1:1880/ui/#!/1?socketid=HAHHbvBICg57UtZ0AAAh>

### **6.3. Control de Variables**

#### **6.3.1. Teclado Matricial:**

Utilice el teclado matricial para ingresar comandos manuales. Consulte la tabla de comandos en la sección de apéndices para conocer las funciones disponibles.

#### **6.3.2. Aplicación IoT:**

Desde el dashboard de Node-RED, puede ajustar los parámetros de control como los límites de temperatura y humedad. Los cambios realizados en la interfaz web se reflejarán automáticamente en el sistema de control de la incubadora.

### **6.4. Alarmas y Notificaciones**

#### **6.4.1. Módulo Buzzer:**

El buzzer emitirá una alarma sonora si las variables de proceso se salen de los rangos seguros establecidos. Verifique y ajuste las condiciones de la incubadora si se activa una alarma.

#### **6.4.2. Notificaciones en Node-RED:**

Configure alertas y notificaciones en Node-RED para recibir avisos en tiempo real a través de email o SMS en caso de que las variables excedan los umbrales predefinidos.

### **6.5. Operaciones Comunes**

#### **6.5.1. Humidificación.**

- Destrobar las puertas de acceso frontal y lateral y abrirlas totalmente.
- Desplazar la cama fuera de la cúpula.
- Mojar la esponja localizada en la base con 450ml de agua destilada y esterilizada. Esta cantidad de agua será suficiente para por lo menos 12 horas de uso.
- Retomar la cama a la posición original y cerrar las puertas de acceso.

## **7. Mantenimiento Preventiva, Correctiva y Conservación**

Se proporciona instrucciones de limpieza y mantenimiento.

### **7.1. Limpieza y conservación**

Siempre que el equipo este desconectado, fuera de uso, hacer una limpieza profunda y desinfectar la incubadora.

### **7.2. Mantenimiento**

#### **7.2.1. Esponja Humidificadora:**

La esponja humidificadora debe ser cambiada anualmente o siempre que esté presente resecamiento.

### **7.3. Inspección Regular**

#### **7.3.1. Verificación de Sensores:**

Revise regularmente los sensores de temperatura (PT100 y DHT22) y el sensor de nivel de líquido para asegurar su correcto funcionamiento. Limpie los sensores según las recomendaciones del fabricante.

#### **7.3.2. Revisión de Conexiones:**

Asegúrese de que todas las conexiones eléctricas están firmes y libres de corrosión.

### **7.4. Actualización de Software**

#### **7.4.1. Node-RED:**

Actualice el software de Node-RED y los flujos de trabajo según las instrucciones del desarrollador. Mantener el software actualizado asegura la compatibilidad y funcionalidad óptimas.

#### **7.4.2. Firmware del ESP32 y Arduino Nano:**

Verifique periódicamente la disponibilidad de actualizaciones de firmware para el ESP32 y el Arduino Nano y aplique las actualizaciones según sea necesario.

## **8. Solución de Problemas**

### **8.1. Problemas Comunes y Soluciones**

#### **8.1.1. Pantalla LCD no muestra información:**

Verifique la conexión de la pantalla LCD y asegúrese de que el ESP32 está correctamente encendido.

### **8.1.2. No se recibe información en Node-RED:**

Asegúrese de que el ESP32 está conectado a la red Wi-Fi y que la dirección IP configurada es la correcta.

### **8.1.3. Alarmas constantes del buzzer:**

Revise las condiciones dentro de la incubadora y asegúrese de que las variables están dentro de los rangos seguros. Ajuste los parámetros de control si es necesario.

## **9. Apéndices**

### **9.1. Comandos del Teclado Matricial**

START: Conexión Wifi.

STOP: Sin Wifi.

Código A: Cambiar Temperatura.

Código B: Cambia Alarma.

Código C: Salir.

Código A: Dato Guardado.

Código B: Borrar.

Código C: Regresar.

START: Empezar.

STOP: Pausar.

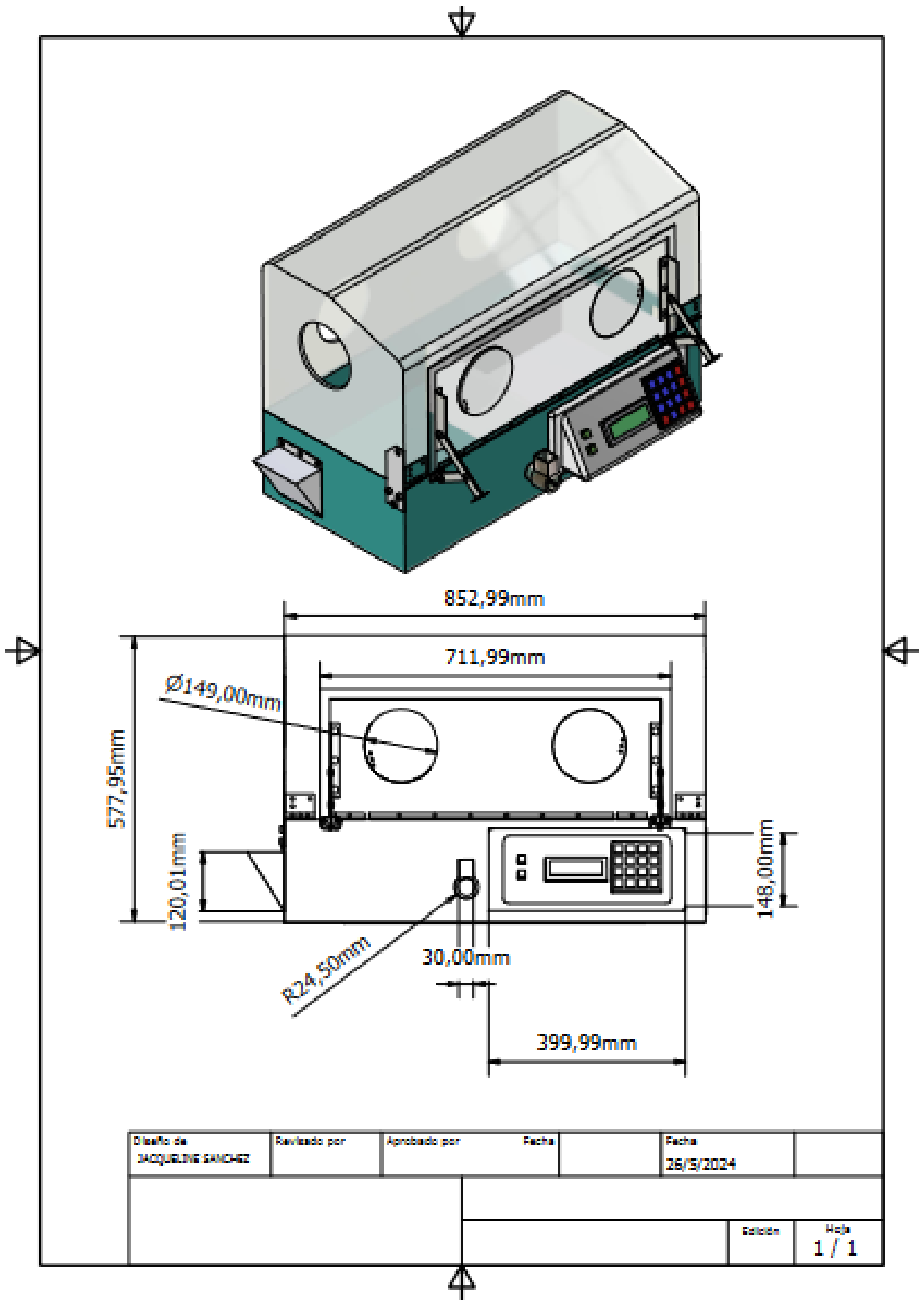
### **9.2. Contacto para Soporte Técnico**

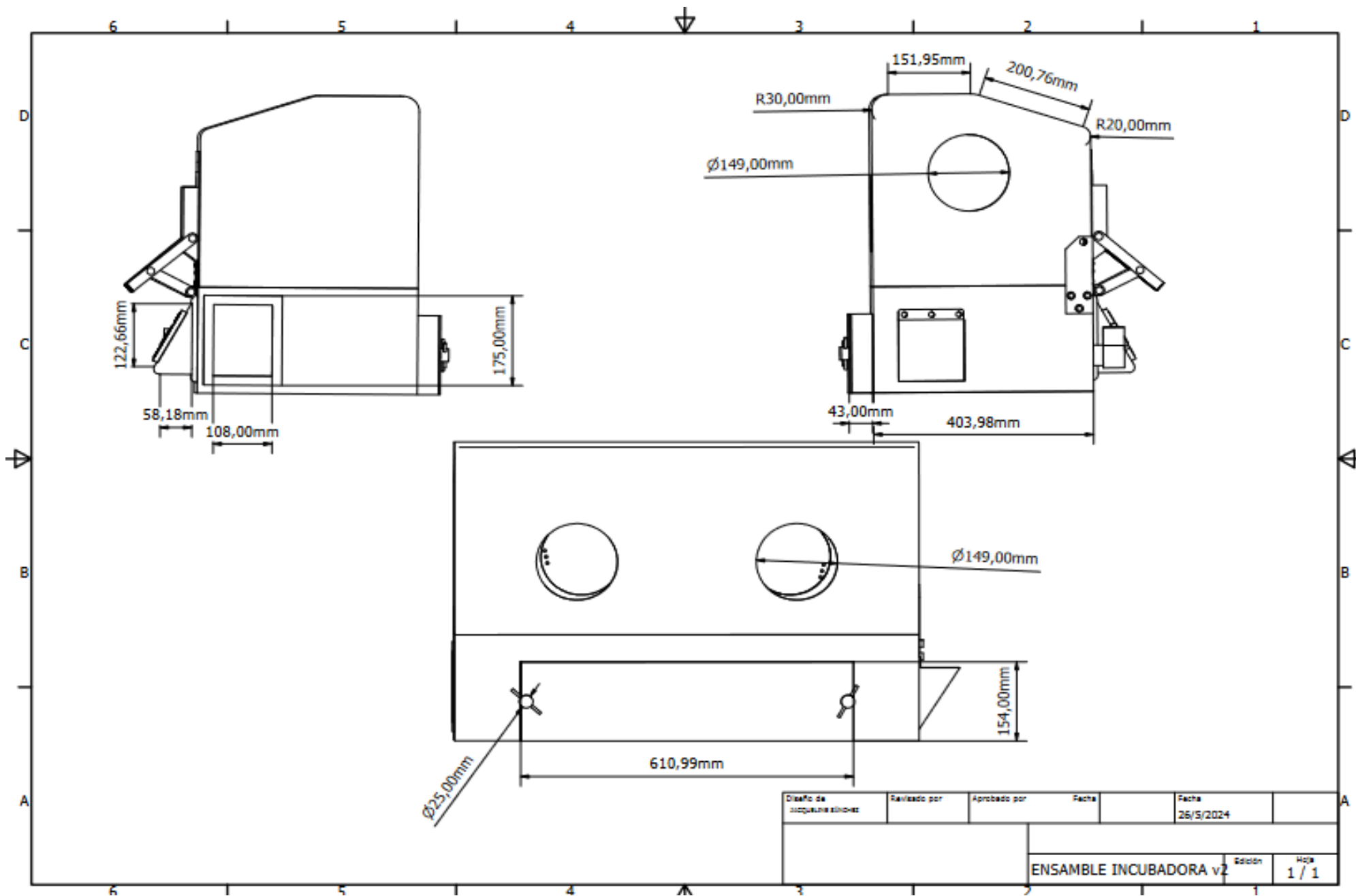
Correo Electrónico: [jsanchezm12@est.ups.edu.ec](mailto:jsanchezm12@est.ups.edu.ec)

Teléfono: 0992529770

Este manual proporciona una guía completa para la operación y mantenimiento del sistema de control automático e IoT de la incubadora, asegurando que los usuarios puedan utilizar y mantener el sistema de manera efectiva.

Anexo 4. ENSAMBLE INCUBADORA





Diseño de Jacqueline Alvarez	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha 26/5/2024	
			ENSAMBLE INCUBADORA v2		
			Edición	Hoja 1 / 1	